Aus der Medizinischen Klinik
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. H. D. Waller
und der Abteilung für Nuklearmedizin
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. U. Feine
des Medizinischen Strahleninstituts der Universität Tübingen

Myokardszintigraphie mit Thallium-201 als Erfolgskontrolle bei aortokoronarer Bypass-Operation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von

Albrecht Gauß
aus Upfingen

1981

Aus der Medizinischen Klinik
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. H. D. Waller
und der Abteilung für Nuklearmedizin
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. U. Feine
des Medizinischen Strahleninstituts der Universität Tübingen

Myokardszintigraphie mit Thallium-201 als Erfolgskontrolle bei aortokoronarer Bypass-Operation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von

Albrecht Gauß
aus Upfingen

1981

Dekan: Professor Dr. K. Voigt
1. Berichterstatter: Professor Dr. K. Kochsiek
2. Berichterstatter: Professor Dr. K. Anger

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (07472) 22145

Häufig verwandte Abkürzungen

acbg	:	Aorto coronary bypass grafting
AP	:	Angina pectoris / als Projektion bei der Szintigraphie: Anterior-posterior
BCI	:	Belastungscoronarinsuffizienz
BP	:	Bypass
DIAG	:	Diagonalisäste
HW-MI	:	Myokardinfarkt der Hinterwand
LAD	:	Arteria descendens anterior
LAO	:	Projektion bei der Szintigraphie: Links anterior oblique
LCX	:	Ramus circumflexus
LL	:	Projektion bei der Szintigraphie: Links lateral
MARG	:	Ramus marginalis
MI	:	Myokardinfarkt
RAO	:	Projektion bei der Szintigraphie: Rechts anterior oblique
Schema 1	:	Siehe S. 33
Schema 2	:	Siehe S. 34
Tl-201	:	Thallium-201
VW-MI	:	Myokardinfarkt der Vorderwand

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548922_0021

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG	1
2 HISTIOGRAPHISCHE DARSTELLUNG	
2.1 Koronarangiographie	3
2.2 Klinischer Befund	4
2.3 Belastungs-EKG	5
2.4 Aortokoronare Bypass-Operation	6
2.5 Tl-Myokardszintigraphie	8
2.5.1 Historie	8
2.5.2 Chemische Eigenschaften	9
2.5.3 Biochemisches Verhalten	9
2.5.4 Physikalische Eigenschaften	10
2.5.5 Toxizität und Dosimetrie	11
2.5.6 Pharmakokinetik und ihre Determinanten	12
2.5.7 Vergleich des Tl mit anderen myokard=affinen Radionukliden	13
2.5.8 Einfluß von Medikamenten auf das Tl-Szintigramm	14
2.5.9 Tl-Szintigraphie unter Belastung	14
2.5.10 Die Redistribution	15
2.5.11 Indikationen zur Tl-Szintigraphie	16
3 MATERIAL UND METHODE	17
3.1 Patienten (Zusammensetzung und Auswahl)	17
3.2 Koronarangiographie	20
3.2 Belastungsversuch	21
3.3 Tl-Szintigraphie	23
3.4.1 Aufnahmetechnik	24
3.4.2 Kamera	25
3.4.3 Dokumentation	25
3.4.4 Computergesteuerte Korrekturen am ursprünglichen Scan	26

3.4.5 Analyse und Interpretation der Szintigramme 30
3.4.5.1 Segmenteinteilung 30
3.4.5.2 Auswertung 32
3.4.5.3 Detaillierte Darstellung der Auswertungskriterien 35

4 ERGEBNISSE Gruppe I Gruppe II

4.1 Präoperative Befunde 41 71
4.1.1 Koronaranatomie 41 71
4.1.2 Belastungsversuch 41
4.1.3 Tl-Myokardszintigraphie 43
4.1.3.1 Identifikation von präoperativen Infarkten 43
4.1.3.2 Nachweis der präoperativ bestehenden koronaren Herzkrankheit durch das Szintigramm 44
4.1.3.3 Präoperative Identifikation bypassfähiger Stenosen 44
4.1.4 Präoperativer Vergleich: Koronarangiographie-Belastungs-EKG-Tl-Szintigraphie 47
4.2 Operation 47 71
4.2.1 Zahl und Lokalisation der Grafts 47 71
4.2.2 Komplikationen 48 72
4.3 Postoperative Befunde 49 72
4.3.1 Nachangiographie 49 72
4.3.2 Subjektive Besserung postoperativ 50 73
4.3.3 Belastungsversuch 51 73
4.3.4 Tl-Szintigraphie 54 74
4.3.4.1 Postoperative Infarktidentifikation 54 74
4.3.4.2 Vergleich der Speicherdefekte prä- und postoperativ 55
Postoperative Speicherdefekte
4.3.4.3 Bypass-Regionen 57 75

	Gruppe I	Gruppe II
4.3.4.4 Vergleich der Befunde der Bypass-Regionen: Angiographie- Tl-Szintigraphie	61	77
4.3.4.5 Vergleich der Bypassfunktion bei Patienten mit und ohne präoperativen Infarkt	62	
4.3.4.6 Beurteilung des Restmyokards	63	
4.3.5 Vergleich der Befunde: Belastungsuntersuchung- Tl-Szintigraphie	65	78
4.3.6 Vergleich der Befunde: Koronarangiographie-Belastungs-EKG-Tl-Szintigraphie	67	79
4.3.6 Vergleich zwischen einfacher und interpolierender Untergrundsubtraktion	80	
5 DISKUSSION	83	
6 ZUSAMMENFASSUNG	98	
7 LITERATURVERZEICHNIS	101	
8 ANHANG		

1 EINLEITUNG

Seit Beginn der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nehmen die Herz- und Kreislaufleiden in den Industriestaaten die Spitzenposition unter den Todesursachen ein. Der hohe Anteil der koronaren Herzkrankheit in dieser Krankheitskategorie schlug sich auch in der intensiven Erforschung der operativen Möglichkeiten zur Verbesserung der Lebensqualität und Prognose der Patienten mit Angina pectoris und/ oder Herzinfarkt nieder.

Bedeutendstes Resultat war die Einführung der aorto-koronaren Bypass-Operation in das chirurgische Routineprogramm ab 1967 (FAVALORO, Cleveland, 24).
Trotz eines Jahrzehnts Erfahrung mit dieser Operation sind Indikation und Nutzen noch umstritten.

Adäquate Kontrolle des Operationserfolgs war bisher nur mit Hilfe der selektiven Koronarangiographie möglich, die ja mit einem, wenn auch heute sehr geringen Untersuchungsrisiko verbunden ist.

Die statische Belastungsszintigraphie des Herzens mit Thallium-201 ist eine nicht-invasive Untersuchungs-Methode, die seit 1975 in der Diagnostik der koronaren Herzkrankheit eingesetzt wird (FELIX et al.,25).
Hierbei können Aussagen über die Myokardperfusion gemacht werden, insbesondere ist bei biphasischem Untersuchungsgang die Unterscheidung zwischen ischämischem- und Narbengewebe möglich.

Gegenstand und Ziel dieser Arbeit soll es sein, an Hand von 40 Patienten (von denen 25 vor und nach Bypass-Operation und 15 Patienten nur postoperativ mit der Thallium-Myokardszintigraphie untersucht wurden) Wertigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Methode als nicht-invasive Untersuchung zur Erfolgskontrolle

der Perfusionsverbesserung nach aortokoronarer Bypass-= Operation zu prüfen.
Dies soll im Vergleich zu der ebenfalls durchgeführten Belastungselektrokardiographie, der Koronarangiographie und zu dem klinischen Befund des Patienten nach Operation geschehen.

2 HISTIOGRAPHIE

Da die Ergebnisse der prä- und postoperativen Thallium=szintigraphie (Tl-Szintigraphie)

1. an der Koronarangiographie gemessen
2. mit dem klinischen Befund des Patienten prä- und postoperativ sowie
3. seinem Belastungs-EKG verglichen sowie
4. mit der Operation (Zahl und Lokalisation der Saphena-grafts) beziehungsweise ihren möglichen Komplikationen in Beziehung gebracht werden müssen,

wird auf die Histiographie dieser Parameter kurz eingegangen. Besonderes Gewicht soll dabei auf die Tl-Szintigraphie gelegt werden.

2.1 Koronarangiographie

Über die Bedeutung und das Gewicht der Koronarangiographie für die Diagnosestellung der koronaren Herzkrankheit, für die Indikationsstellung zur aortokoronaren Bypass-Operation= aorto coronary bypass grafting= acbg, aber auch für die postoperative Überprüfung des Operationserfolgs bestehen in der Literatur keine Differenzen. Als Nachteile sind erstens wesentliche Komplikationen wie Tod des Patienten, Myokardinfarkt und periphere Embolie zu nennen, wobei die Letalitätsrate von RENTROP (63) (1977) mit durchschnittlich 0,4% beziffert wird. Zweitens können sich bei der Koronarangiographie auch falsch negative Befunde ergeben. Arteriosklerotische Verengungen werden oft fehleingeschätzt und Ostium- sowie Hauptstammstenosen sind manchmal schwer darstellbar. Die Koronarangiographie lässt nur die Beurteilung der Gefässmorphologie oberhalb von 100 Mikrometer

Durchmesser zu. Drittens sind die relativ hohen Kosten und der grössere Zeitaufwand zu beachten, wenn man die Koronarangiographie unter dem Blickwinkel der routine=mässigen postoperativen Follow-up-Methode betrachtet.

2.2 Klinischer Befund

Die von HEBERDEN 1768 erstmals klassisch beschriebene Angina pectoris, die beim Großteil der Patienten mit koronarer Herzkrankheit zu erfragen ist, zu vermindern oder ganz zu beseitigen, ist das wesentliche Ziel der Operation.
Nach BARMEYER et al. (4) und McINTOSH et al. (53) sind 75% der Patienten initial postoperativ völlig beschwerde=frei, etwa 90% sind gebessert.
Die ursprünglich von MATLOF et al. (51) angegebene gute Korrelation zwischen postoperativ beseitigter Angina und Perfusionsverbesserung durch offene Grafts wurde bald von verschiedenen Autoren wie McINTOSH et al. (53), BARTEL et al. (5), BENCHIMOL et al. (7) und DILUZIO et al. (20) bestritten. Diese nämlich stellten fest, daß auch nach Bypassverschluß postoperative Schmerzfreiheit resultieren kann. McINTOSH et al. geben an, daß auch keine ausreichend gute Korrelation zwischen Vollständigkeit der Revaskularisation und dem Grad der Besserung besteht.
Nach den obengenannten Autoren sind folgende Zusammen=hänge bei fehlender Angina mit subjektiver Besserung trotz Persistenz der koronarsklerotischen Veränderungen und insuffizienter Venengrafts nach Operation mitzu=bedenken:
Erstens wird häufig bei Patienten mit peri- oder post=operativem Infarkt nach der Operation eine Besserung der Schmerzsymptomatik bis zur Beschwerdefreiheit beobachtet.
Zweitens wird eine durch chirurgische Manipulation an der Aortenwurzel verursachte Denervierung für eine

postoperative Besserung der Beschwerden verantwortlich gemacht. Drittens wird die Angina pectoris in den ersten Woehen nach Operation, in denen sich die meisten Patienten besser fühlen, durch den Wundschmerz maskiert. Hiermit steht in Übereinstimmung, daß bei manchen Patienten nach Klinikentlassung die Angina wieder auftritt. Viertens werden psychisch bedingte Placeboeffekte für die falsch negativen Befunde angeschuldigt.(53).
Aus diesen Angaben geht hervor, daß die postoperative Beschwerdefreiheit kein ausreichender Indikator für die Perfusionsverbesserung am Herzen ist.

2.3 Belastungs-EKG

Verglichen mit der Letalität bei Koronarangiographie ist die des Belastungs-EKG's wesentlich geringer, nämlich im Durchschnitt 0,01% (4).
Was die Aussagekraft des Belastungs-EKG's bei der postoperativen Kontrolle des acbg betrifft, sind die Angaben in der Literatur kontrovers.(5), (53), (55).
Da die meisten Untersucher das Belastungs-EKG am Koronarangiogramm messen,muß auch hier der Einwand erlaubt sein, daß das Koronarangiogramm nur den anatomischen Zustand der nativen Gefässe und Grafts beschreibt, nicht aber z.B. die funktionelle Myokardreserve.
Davon abgesehen wird die Sensitivität dieser Methode von McCONAHAY et al. (52) sehr gering (32%), die Spezifität dagegen hoch (91%) veranschlagt; das heißt, im Falle einer koronarangiographisch bestätigten postoperativen Besserung wird das Belastungs-EKG dies in einem hohen Prozentsatz richtig bestätigen.
Eine postoperative Verschlechterung wird dagegen nur in einem geringen Teil der Fälle als solche registriert. MERRILL u. Mitarb. (55) konnten jedoch gute Korrelationen zwischen dem vergrösserten "rate-pressure product" während der Belastung und einer verbesserten Perfusion finden.

Als Möglichkeiten der Entwicklung eines postoperativ normalen Belastungs-EKG's bei pathologischem Angiogramm oder Ventrikulogramm werden in der Literatur genannt:

1. Peri- oder postoperativer Infarkt (5)
2. Submaximale Belastung oder Placebowirkung (53)

Außerdem kommen alle anderen von der Operation unabhängigen Ursachen wie Schenkelblockbilder, β-Rezeptorenblockermedikation, Einnahme von Nitrokörpern u.a. (4) für einen falsch negativen Befund in Frage.
Weiter kommen MATLOF et al. (51) und McCONAHAY et al. (52) zu dem Schluß, daß ein Bypassverschluß von einer unvollständigen Revaskularisation nicht zu unterscheiden ist. Patienten mit pathologischem postoperativen Belastungs-EKG haben mit gleicher Wahrscheinlichkeit einen Bypassverschluß wie Patienten mit normalem Belastungs-EKG (52).
Zusammenfassend ist nach dem Schrifttum das Belastungs-EKG gerade in den Grenzfällen mit fehlender Perfusionsverbesserung oder sogar Verschlechterung nicht genügend sensitiv.

2.4 Aortokoronare Bypass-Operation

Alle Operationsverfahren, die vor der 1964 erstmals von GARRETT (53) durchgeführten direkten Revaskularisation angewandt wurden, führten durchweg zu unbefriedigenden Ergebnissen.
Nach der Einleitung der 2. Generation der aortokoronaren Venenbypass-Operationen 1967 durch FAVALORO (24) wurde diese Operationsmethode sehr schnell in das chirurgische Routineprogramm aufgenommen.
So wurde auch in der BRD im selben Jahr in Erlangen die erste Bypass-Operation vorgenommen und ab 1974 begann man auch in Tübingen damit, einen Teil der Koronarkranken chirurgisch zu therapieren.
Zur Indikationsstellung ist augenblicklich die Koronarangiographie zusammen mit der Ventrikulographie die

wesentliche Methode. Es wurde auch bei einigen Patienten der Medizinischen Universitäts-Klinik Tübingen im Jahre 1978, nachdem auf Grund von Koronarangiographie- und Ventikulographiebefunden keine sichere Entscheidung getroffen werden konnte, die Indikation zur Operation von dem präoperativ angefertigten Tl-Szintigramm abhängig gemacht.

Die Früh- und Spätkomplikationen der Bypass-Operation, soweit sie für die Interpretation der Szintigramme von Bedeutung sind, sollen nach dem bisherigen Stand der Literatur zusammengefaßt werden.

Perioperative Infarkte sind nach dem Schrifttum in einer Häufigkeit von 5-20% der Operierten zu erwarten (7),(24). Ein kardiogener Schock und das zerebrale Postperfusionssyndrom können den postoperativen Verlauf komplizieren. Neben dem Postkardiotomiesyndrom ist als Spätkomplikation vor allem der Bypassverschluß zu nennen.

Nach McINTOSH et al. (53) ist in den ersten 2 Wochen nach Operation mit einer Verschlußrate von 11% zu rechnen, nach einem Jahr sollen durchschnittlich 20% und nach 3 Jahren 25% der Grafts verschlossen sein.

Auch in den nativen Gefäßen finden sich Angaben von VLODAVER et al. (78) und BOURASSA et al. (10) zufolge postoperativ Veränderungen, die sich an verschiedenen Stellen abspielen.

Erstens muß proximal der Anastomose eine Akzeleration der Arteriosklerose angenommen werden. BOURASSA et al. fanden, daß in 40-60% der mit einem Bypass überbrückten Gefäße ein proximaler Verschluß einer vorherigen Stenose auftritt. Bedeutung hat dies für das Versorgungsgebiet der Arteria descendens anterior (LAD), da in ihrem proximalen Teil wichtige Äste zum linken Ventrikel abgehen (53). Zweitens sind an der Anastomosenstelle und auch distal von dieser postoperativ Veränderungen beschrieben. Von McINTOSH et al. stammt wohl die umfassendste Arbeit zu der Frage, inwieweit die Bypass-Operation die von ihr angestrebten Ziele (Beseitigung oder Besserung der Angina

pectoris, Verhinderung von Infarkten oder akuten Todes=fällen und Lebensverlängerung) erreichen kann,
Bis 1979 wurde dieser Bericht wie die prospektive Veterans-Administration-Studie, die neben anderen Arbei=ten ein wichtiger Beleg in McINTOSH's Überblick war, heftig diskutiert (11), (39), (45).
Die Erwähnung dieser Tatsachen soll nur andeuten wie umstritten diese Operationstechnik ist, weniger was die Indikationsstellung als vielmehr was die Frage der Lebens=verlängerung und der Prävention von Myokardinfarkten durch das acbg angeht.
McINTOSH et al. resümieren über 10 Jahre Bypasschirurgie: "Die gegenwärtig greifbare Literatur deutet nicht darauf=hin, daß das acbg das Auftreten schwerer Arrhythmien oder das eines Herzversagens abwenden kann. Abgesehen von einer kleinen Gruppe von gebesserten Koronar-Patienten gibt es keinen schlüssigen Beweis, daß das acbg den früh=zeitigen Tod verhüten kann. Wenig Zweifel besteht darüber, daß die Bypass-Operation in über 75% der Fälle die Angina pectoris für eine Zeitlang bessern kann."
Die Darstellung dieser Problematik hat in dieser Arbeit solchen Raum erhalten, weil daraus die Konsequenz abzu=leiten ist, die Brauchbarkeit und Reproduzierbarkeit von Methoden wie der Tl-Szintigraphie zur routinemäßigen Ver=laufskontrolle vor und nach aortokoronarer Bypass-Opera=tion zu überprüfen.

2.5 Tl-Myokardszintigraphie

2.5.1 Historie

Radioaktiv markierte Indikatoren wurden erstmals 1927 durch BLUMGART und WEISS in die kardiologische Diagnostik eingeführt.
Aber erst nach Entwicklung der Szintillationskamera 1958 durch ANGER berichtete CARR 1962 über die Möglichkeit einer szintigraphischen Darstellung des Myokard (64).

Die Anwendung von Tl-199 als Kalium (K)-Analoges wurde dann 1969 von KAWANA vorgeschlagen.
1973 entwickelten LEBOWITZ et al. (42) die pharmazeutische Produktion von Tl-201 und schafften damit die Voraussetzung für die ab 1974/75 einsetzende klinische Erprobung der Tl-201-Myokardszintigraphie.
Ab 1975 wurden auch in Deutschland erste biokinetische und klinische Studien- unter HÖR und PABST in München sowie FELIX et al. (25,26) in Bonn- durchgeführt.

2.5.2 Chemische Eigenschaften von Tl

Thallium ist ein Schwermetall aus der Gruppe III des Periodensystems der Elemente (1), (62). Tl findet sich in weitester Verbreitung in der Erdrinde, zum einen als Begleiter von Schwermetallen in Blenden und Kiesen, zum andern zusammen mit den Alkalimetallen Kalium (K), Rubidium (Rb) und Cäsium (Cs).
Bei gleicher Valenz liegt der Ionenradius des Tl^+ von 1,44 Angström (Å) zwischen dem von K^+ mit 1,33 Å und dem von Rb^+ mit 1,48 Å (nach der Bestimmungsmethode von Pauling).

2.5.3 Biochemisches Verhalten

Daß die Determinanten des In- und Efluxes von Tl^+ in Muskelzellen denjenigen des K^+ sehr ähnlich sind, fanden MULLINS et al. (57) 1960. Versuche von GEHRING und HAMMOND (29,30) 1964 und 1967 sowie von BRITTEN und BLANK (13) 1968 und anderen (41) einige Jahre später ließen vermuten, daß Tl^+ über das Natrium (Na^+)-K^+-=ATPase-System in die Zelle eingeschleust wird, bzw. sogar dieses System aktiviert, zumal die Tl-Aufnahme durch Quabin (als Hemmer der ATPase) gehemmt wird.
Die 10-fach höhere Bindungsaffinität des Tl^+ an die K^+-Bindungsstelle der ATPase sehen FELIX et al. (25) im Zusammenhang mit der Tatsache, daß Tl^+ im Gegensatz zu K^+ ein 6p und zwei 6s Elektronen besitzt und damit zur

besseren Assoziation mit Anionen und zur Komplexbildung fähig ist. Ausgehend von diesem Modell muß geschlossen werden, daß die Tl-Anreicherung in den Geweben vitale Membranfunktionen erfordert.
Daraus ergibt sich, daß die Tl-Szintigraphie im Gegensatz zur Szintigraphie mit Technetium-Pyrophosphat zu "negativen" Szintigrammen führt. Läsionen (Narben, Schwielen) bzw. durch Belastung erzeugte Ischämien werden demnach als Aussparungen im Szintigramm sichtbar.

2.5.4 Physikalische Eigenschaften

Das von den verschiedenen Tl-Isotopen die besten meßcharakteristischen Eigenschaften besitzende Tl-201 wird im Zyklotron erzeugt. Natürliches Tl-Target wird mit Protonen beschossen und zerfällt gemäß untenstehender Reaktion über Blei (Pb)-201 zu Tl-201:

$$^{203}_{81}Tl \xrightarrow{p/3n} {}^{201}_{82}Pb \xrightarrow[T1/2=9,4h]{} {}^{201}_{81}Tl$$

p = Proton
n = Neutron
T1/2 = Halbwertszeit
h = Stunde

Tl-201 wiederum zerfällt unter Elektroneneinfang mit einer Halbwertszeit von 73 Stunden zu stabilem Quecksilber (Hg) nach folgender Reaktion (42):

$$^{201}_{81}Tl \xrightarrow[T1/2=73h]{} {}^{201}_{80}Hg$$

Dabei treten als Srahlungen auf:

1. Die charakteristischen Röntgenstrahlen des Folgenuklids Hg auf Grund des Elektroneneinfangs mit Energien im Bereich 65-82 Kiloelektronenvolt (kev)[1].
2. Gamma-Strahlung im Bereich 135 und 167 kev.

Die Intensität der charakteristischen Hg-Röntgenstrahlung ist etwa 10 mal höher als die der Gammastrahlen.

1: Umrechnung in SI-Einheiten: $1eV = 1{,}6 \times 10^{-19}$ Joule (J)

2.5.5 Toxizität und Dosimetrie

Toxizität: Das Schwermetall Tl ist eine toxische Substanz, die ab Mengen von ungefähr 1 Milligramm (mg)/Kilogramm (kg) Körpergewicht (KG) zu typischen Vergiftungserscheinungen führt (Haarausfall, gastrointestinale Symptome, zentralnervöse Schäden) (12,28).

1 Millicurie (mCi)[2] Tl enthält jedoch nur etwa 2 Mikrogramm (µg) Tl. Geht man von einer letalen Dosis $(LD)_{50}$ von 40 mg/kg KG aus (25,48), dann liegt die verabreichte Menge bei Injektion von 1 mCi um den Faktor 10^6 unter der LD_{50}. Demzufolge treten toxische Wirkungen bei der für die Myokardszintigraphie benötigten Menge von 1 bis 2 mCi nicht auf. Nebenwirkungen und Komplikationen sind in der Literatur nicht beschrieben.

Dosimetrie: Nach Untersuchungen am Menschen kamen ATKINS et al. (2) zu untenstehenden Dosimetrieergebnissen. Zum Vergleich sind die Ganzkörper- und Gonadendosen bei einem Thoraxröntgenbild angegeben (74).

Tab.1 Dosimetrieergebnisse bei der Tl-Szintigraphie (2)

	Tl-Szintigraphie (mrad/mCi)	Thoraxröntgenbild (mrad)
Ganzkörper	210	100
Testes	590	weniger als 10
Niere	1170	
Schilddrüse	1030	

Frühere Untersucher (12,27,42) haben die Strahlenbelastung zum Teil unterschätzt, was mit darauf zurückzuführen ist, daß von in Tierversuchen gewonnenen Ergebnissen auf den Menschen geschlossen wurde.

2.5.6 Pharmakokinetik und ihre Determinanten

Die wesentlichen Faktoren für die Tl-Aufnahme ins Myokard sind
1. Myokardperfusion
2. Extraktionsfähigkeit des Myokards
3. Muskelmasse

2: Umrechnung in SI-Einheiten: 1 mCi= $3{,}7 \times 10^7$ Bequerel (Bq)
1 mrad=10^{-5} Gray (Gy)

Ad 1.: Untersuchungen von STRAUSS et al. (72,73) und Anderen (33), (56) mit intraatrial injizierten Mikrosphären bei gleichzeitiger intravenöser Tl-Verabreichung und anschließendem Vergleich von Durchblutung und Tl-Aufnahme ergaben enge Korrelationen zwischen diesen beiden Parametern. Diese enge Korrelation ergibt sich jedoch nur in Ruhe, wie weitere Versuche der genannten Untersucher mit Koronardilatatoren wie Dipyridamol u. a. zeigten. Erhöhte Durchblutung wurde nicht mit entsprechend hoher Zunahme der Tl-Anreicherung beantwortet.
Andererseits ist aber die initiale Tl-Aufnahme und Verteilung nach MASERI et al. sowie RITCHIE et al. (49), (64) doch primär durchblutungsabhängig.

Ad 2.: Die Extraktionsfähigkeit ihrerseits ist
a) eine Funktion der Vitalität der Zellen und
b) eine Funktion des regionalen Metabolismus, im besonderen des myokardialen Sauerstoffverbrauchs (18), (25), (33), (71).

Die gute Darstellbarkeit von alten Infarktnarben, als Akinesien im Ventrikulogramm erkennbar, ist von daher zu erklären. Daß zwischen dem Ausmaß der Stenose und der Tl-Anreicherung keine sicheren Korrelationen bestehen, dagegen schon eher zwischen Wandbewegungsstörung und Tl-Anreicherung, fanden BÜLL u. Mitarb. (14,15).
Metabolische Veränderungen im Sinne einer Hypoxie führen nach WEICH et al. (79) zu einer Herabsetzung der Extraktion als Folge einer Beeinträchtigung des ATPase-Systems.
Ad 3.: Erhöhte Tl-Aufnahmen bestimmten STRAUER et al.(71) bei vergrößerten Myokardmassen.

Für Thallium ergeben sich aus der Literatur folgende pharmakokinetischen Daten (2), (12), (42), (44):
Nach intravenöser Verabreichung läßt sich die Blutextraktion als biexponentielle Kurve darstellen, wobei 91% der injizierten Menge mit einer Halbwertszeit von 5 Minuten und der Rest mit einer Halbwertszeit von 40 Stunden aus dem Blut extrahiert werden.

3 bis 5% des injizierten Tl werden vom Herzen aufgenommen. Im Verhältnis zum Herzen (pro Gramm (g) Organgewicht) wird Tl in andere Organe folgendermaßen aufgenommen:

Herz: Leber = 2,3 : 1
Herz: Milz = 3,6 : 1 nach BRADLEY-MOORE
Herz: Niere = 1,2 : 1 u. Mitarb. (12)

Die halbe Eliminationszeit für Tl aus dem Myokard wird von LICHTE et al. (44) mit 33 Minuten angegeben, die biologische Halbwertszeit mit 10 Tagen. Unter Berücksichtigung der physikalischen Halbwertszeit von 73 Stunden ergibt sich für die effektive Halbwertszeit nach ATKINS et al. (2) ein Wert von 57 Stunden.
Thallium wird zum größten Teil über die Nieren ausgeschieden (4% am ersten Tag nach Injektion). Dabei steigern Mineralkortikoide die renale Tl-Clearence in ähnlicher Weise wie die des Kalium (30). Die Exkretion in die Faeces ist zu vernachlässigen.

2.5.7 Vergleich des Tl mit anderen myokardaffinen Radionukliden

Neben Tl wurden insbesondere aus physiologischen Gründen Radioisotope der Alkaligruppen wie ^{43}K, ^{129}Cs, ^{131}Cs, ^{134m}Cs, ^{81}Rb und ^{86}Rb untersucht.
Da in der Literatur zwei Arbeiten (die eine von ZARET et al.,(81),mit ^{43}K, die andere von LURIE et al.,(47),mit ^{81}Rb) mit Nicht-Tl-Nukliden zur Erfolgskontrolle des acbg eruiert werden konnten, sollen die mit diesen Nukliden zusammenhängenden Probleme kurz gestreift werden:
Der Nachteil der meisten der erwähnten Radioionen (^{43}K, ^{129}Cs, ^{81}Rb) ist, daß sie kurzlebige Zyklotronprodukte mit für die Kameraszintigraphie ungünstig hohen Gammaenergien sind. Von den Reaktorprodukten hat ^{131}Cs eine für szintigraphische Zwecke zu niedrige Gammaenergie und ^{134m}Cs ist wegen einer unvermeidlichen Verunreinigung mit ^{134}Cs aus Strahlenschutzgründen nicht zu vertreten (Halbwertszeit: 2 Jahre).
Zwar besitzt das von ZARET et al. benutzte ^{43}K eine

schnellere Blutclearence als Tl, dafür ist die längere Retention des Tl gegenüber ^{43}K im Myokard vorteilhaft. Das Verhältnis Myokardaktivität zu Hintergrundaktivität ist von besonderer Wichtigkeit und Grund der allgemeinen Bevorzugung von Tl in jüngerer Zeit (37,42,44,59).

2.5.8 Einfluß von Medikamenten auf das Tl-Szintigramm

Die Tatsache der Abhängigkeit der Tl-Extraktion vom Funktionszustand der Na-K-ATPase mußte die Frage aufkommen lassen, ob sich bei Einnahme von Digitalispräparaten Änderungen der Tl-Konzentration im Myokard oder Verschiebungen der Relation Myokard zu Hintergrund ergeben würden. Sowohl der Einfluß von perfusionsverbessernden Medikamenten wie Dipyridamol und Nitropräparaten als auch die Wirkungen von β-Sympathikolytika wurden geprüft.
Studien von WEICH et al. (79) und HAMILTON et al. (38) ließen keine signifikanten Effekte von Digitalis auf das Szintigramm erkennen. Während WEICH et al. keine Änderung der Exkretion nach Propanololgabe fanden, beschrieben HAMILTON et al. jedoch eine verminderte Tl-Aufnahme ins Myokard. Unter Dipyridamolmedikation ergaben sich nach Untersuchungen von HAMILTON et al. und GOULD (33) erhöhte Tl-Extraktionsraten.
WOLF u. Mitarb. (80) ermittelten eine deutliche Abnahme der Sensitivität des Tl-Szintigramms nach Einnahme von Nitropräparaten.
Da die genannten Untersuchungen zum großen Teil bisher nur in Tierexperimenten sowie unter Ruhebedingungen gewonnen wurden, kann ein endgültiges Urteil über den Einfluß der jeweiligen Medikamente- insbesondere was quantitative Auswertungen von Szintigrammen betrifft- nicht gefällt werden.

2.5.9 Tl-Szintigraphie unter Belastung

Flußmessungen zufolge, die GOULD et al. (34) an stenosierten Koronararterien vornahmen, sind in Ruhe erst ab 85%iger Stenosierung pathologische Durchblutungswerte

zu erwarten. Bei Belastung dagegen steigt der Fluß in den nicht befallenen Koronararterien um das 3 bis 4-fache an, während er in 50 bis 60%ig stenosierten Arterien nur ganz gering oder gar nicht ansteigt.
Diese Unterschiede der Durchblutung bei Belastung sind die Ursache für belastungsinduzierte Ischämiedefekte im Szintigramm und damit die Basis der Belastungsszintigraphie. Der zweite Vorteil dieser Art von Szintigraphie ist, daß bei Belastung die Hintergrundaktivität zugunsten einer erhöhten Myokardanreicherung mit Tl abnimmt.
Demnach kann man üblicherweise im Ruhe- bzw. Redistributionsszintigramm nur alte Infarkte, im Belastungsszintigramm aber auch durch Stenosierungen induzierte Ischämien erkennen.

2.5.10 Die Redistribution

Seit den Untersuchungen von POHOST et al. (61) und Anderen (8,16,31,46,50,68,69) ist das Phänomen bekannt, daß sich die durch Belastung ischämisch gewordenen Gebiete in Ruhe nach 3 bis 5 Stunden wieder mit Tl "aufgefüllt" haben. POHOST nannte dieses Phänomen Redistribution, weil er annahm, daß die nach einigen Stunden wieder normal perfundiert erscheinenden Regionen Tl aus dem Blutpool extrahieren. MATHEY u. Mitarb. (50) dagegen sehen die Ursache dieses Phänomens in einer im Vergleich zum normalen Gebiet verzögerten Abgabe ("verzögerter turn over") des Tl aus den ischämischen Gebieten.
Für die Praxis ergeben sich daraus zwei Konsequenzen:
1. Da die"Redistribution" schon sehr bald beginnen kann (68), ist möglichst frühzeitiger Beginn der Szintigraphie (5 bis 10 Minuten nach Injektion) angezeigt.
2. Es besteht die Möglichkeit mit einer Tl-Dosis ein Belastungsszintigramm und ein Ruhe-(=Redistributions-) Szintigramm (nach etwa 4 Stunden) anzufertigen.

2.5.11 Indikationen zur Tl-Szintigraphie

Aus den obigen Ausführungen und der Tatsache , daß nach den klinischen Arbeiten (3,9,16,37,64,70,75,76) die Sensitivität für die Tl-Szintigraphie zwischen 56 und 93% und die Spezifität zwischen 83 und 100% veranschlagt werden muß und damit der Voraussagewert (predictive value) der Szintigraphie nur für Patientengruppen mit der Prätestwahrscheinlichkeit zwischen 30 und 60% ordentlich ist (64,75), ergeben sich folgende Indikationen:

1. Patienten mit minimalen oder atypischen Brustschmerzen; asymptomatische Patienten mit bekannten Risikofaktoren.
2. Patienten mit bekannter koronarer Herzkrankheit aber ungewissem Schweregrad und Ausdehnung.
3. Patienten mit fraglicher und unvollständiger Information des Ventrikulogramms und des Koronarangiogramms, insbesondere bei der Frage nach der Indikation zum acbg.
4. Verlaufskontrolle; vor allem Kontrolle des Erfolgs des acbg.

Bisher sind nur einige wenige Arbeiten erschienen, die über eine Verlaufskontrolle des acbg mit der Tl-Szintigraphie berichtet haben. Auf diese Arbeiten soll in der DISKUSSION noch eingegangen werden.

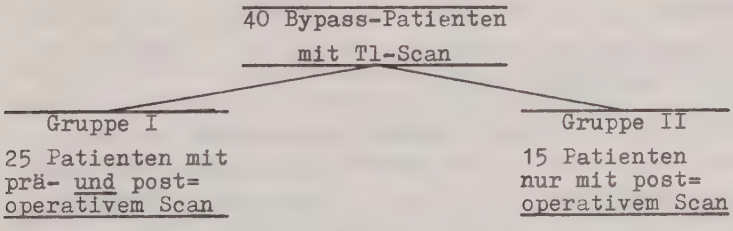
3 MATERIAL UND METHODE

3.1 Patienten (Zusammensetzung und Auswahl)

Bei 40 Patienten wurden im Nuklearmedizinischen Institut Tübingen Tl-Myokard-Belastungsszintigramme vor und nach bzw. nur nach einer aortokoronaren Bypass-Operation angefertigt.
Dieses Krankengut von 40 Patienten stammt aus drei internistischen Kliniken, dem Robert-Bosch-Krankenhaus und dem Katharinenhospital in Stuttgart sowie der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen, wobei sich die Mehrzahl (75%) aus der Tübinger Klinik rekrutiert.
Die Bypass-Operation wurde bei 37 Patienten in der Chirurgischen Klinik Tübingen durchgeführt, 2 wurden im Rehabilitationszentrum Krozingen und 1 Patient in Erlangen operiert.
Von den genannten 40 Patienten wurden

bei 25 Patienten prä- und postoperativ und
bei 15 Patienten nur postoperativ
Tl-Szintigramme aufgenommen.

Nach den Kriterien der prä- und postoperativen Tl-Szintigraphie sollen die 40 Patienten in 2 Gruppen eingeteilt werden:



Gruppe I: Die Patienten dieser Gruppe wurden folgendermaßen ausgewählt:

1. Nahezu[3] alle Patienten, bei denen in der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen in der Zeit

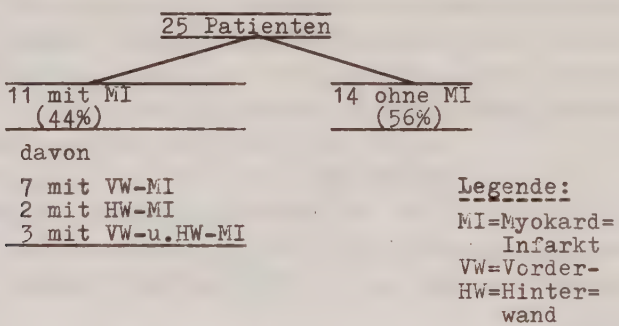
3: Einige Patienten konnten aus terminlichen Gründen nicht erfaßt werden.

zwischen April 1978 und März 1979 die Indikation zum acbg gestellt wurde, sind in diese Untersuchung aufgenommen worden.

2. In der Zeit zwischen Januar und März 1979 wurden in Zusammenarbeit mit der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen praktisch alle Patienten, die zur Bypass-Operation anstanden, szintigraphiert und in die Studie mitaufgenommen.

Die präoperativen Szintigramme wurden im Schnitt wenige Tage bis maximal 4 Wochen vor Operation, die postoperativen durchschnittlich 4 Wochen bis maximal 8 Monate nach dem Eingriff aufgezeichnet.

In dieser Gruppe hatten von 25 Patienten 11 präoperativ einen Myokardinfarkt (MI) (nach anamnestischen Angaben, klinischen, laborchemischen oder elektrokardiographischen Befunden):



Auf Grund des Ruhe-EKG's mußte bei 5 Patienten präoperativ ein transmuraler Infarkt (3 mal die Hw, 2 mal die VW betreffend) angenommen werden.

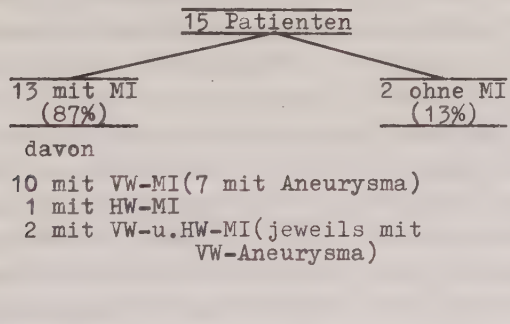
Alle Patienten der Gruppe I hatten präoperativ Angina pectoris (AP), die auch den maßgeblichen Grund für die Operation darstellte. Unter den 25 Patienten fand sich in 13 Fällen eine stabile Belastungs-AP und in 12 Fällen eine instabile AP (Definition nach (6)).
Zwei Patienten dieser Gruppe litten neben der koronaren Herzkrankheit noch an einem Aortenvitium. In einem Fall wurde zur Bypass-Operation auch ein Klappenersatz durchgeführt.

Die erfaßten Patienten waren zwischen 39 und 67 Jahre alt, das Durchschnittsalter betrug 52 Jahre. Im Untersuchungsgut fand sich nur 1 Patient weiblichen Geschlechts.

Gruppe II: Diese Gruppe wurde folgendermaßen gebildet:

1. Bei 6 der 15 Patienten konnte aus technischen Gründen kein präoperativer Scan erhalten werden. Dies waren ausschließlich Patienten aus der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen.
2. 9 Patienten entstammen einer Untersuchungsgruppe, mit Tl-Szintigraphie nach Aneurysmaresektion, wobei für die Aufnahme in diese Untergruppe eine gleichzeitig mit der Aneurysmaresektion verknüpfte Bypass-Operation Voraussetzung war.

Die Szintigraphie der 6 erstgenannten wurde im Schnitt 7 Monate nach Operation, die der Untergruppe 2 durchschnittlich 22 Monate postoperativ durchgeführt.
13 der 15 Patienten dieser Gruppe hatten präoperativ einen Infarkt durchgemacht:



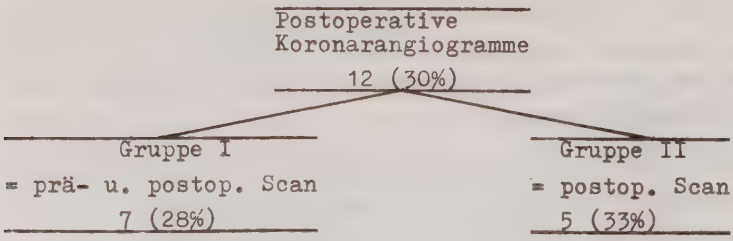
Bei 12 der 13 Infarktpatienten war präoperativ ein transmuraler Infarkt festgestellt worden, der bei 10 Patienten nur die VW, bei 1 Patienten nur die HW und bei einem weiteren VW und HW betraf.

Außer einem Patienten mit VW-Aneurysma hatten alle Patienten präoperativ Angina pectoris und zwar ausnahmslos eine stabile Belastungs-AP. In der Untergruppe 1 war diese allein Grund zur Operation. In der Untergruppe 2 wurde jedoch die Operation veranlaßt, weil sowohl die Indikation zur Aneurysmektomie als auch die zum acbg vorlag.

Bei einem Patienten der Gruppe II bestand zusätzlich eine Aorteninsuffizienz, deren Operation mit der Anlage eines 2 fachen aortokoronaren Bypass' verknüpft wurde.
Alter und Geschlecht: Die Patienten dieser Gruppe waren im Durchschnitt 53 Jahre (der jüngste 42, der älteste 66 Jahre) alt. 2 der 15 Patienten waren weiblich.

3.2 Koronarangiographie

Präoperativ wurden alle Patienten nach der Judkins-= Technik in mehreren Projektionen selektiv koronarangio= graphiert. Ventrikulogramme wurden normalerweise in einer Ebene in 30° RAO durchgeführt.
Postoperativ konnten nur 12 der 40 Patienten (30%) nach= koronarangiographiert werden, da die postoperative Koro= narangiographie in der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen einer spezifischen Indikationsstellung unterliegt: Bei 6 Patienten wurde wegen persistierender Symptomatik in der Medizinischen Universitätsklinik nachangiogra= phiert. Die 3 außerhalb Tübingens operierten Patienten wurden einer routinemäßigen Nachkoronarangiographie unterzogen. Bei weiteren 3 Patienten wurde auf Grund des unverändert pathologischen oder verschlechterten Tl-Scans eine Koronarangiographie spät postoperativ veranlaßt.
Die Verteilung der postoperativen Koronarangiographien auf die oben gebildeten Gruppen ergibt folgendes Bild:



Native Gefäße und Grafts waren bei der postoperativen Koronarangiographie miteingeschlossen. Sie wurde technisch wie präoperativ und in einem Zeitraum von durchschnitt= lich 5 Monaten postoperativ durchgeführt.

Der Abstand zwischen dem postoperativen Tl-Szintigramm und der postoperativen Angiographie betrug maximal 2 Monate, in den meisten Fällen jedoch nur wenige Tage.
Bei der Interpretation der Angiogramme wurden Stenosen, die $\geq$ 75% des Gefäßdurchmessers einnahmen, als signifikant erachtet. Für Bypassstenosen wurde die gleiche Signifikanzbedingung gestellt, wobei Grafts dann als verschlossen angesehen wurden, wenn sie selektiv oder mit der Aortographie nicht darstellbar waren.

3.3 Belastungsversuch

Bei nahezu allen Patienten der Gruppe I konnten wir präwie postoperativ ein Belastungs-EKG anfertigen, bei denen der Gruppe II jedoch nur postoperativ.
Für die Belastungsuntersuchung verwendeten wir den Mingograf Cardirex 6T-EKG-Schreiber, mit dem die Ableitungen I,II,III und V_2,V_4,V_6 abgenommen wurden.
Die Patienten wurden nach dem Ergostaseprinzip am Fahrradergometer belastet; dabei dauerte jede Belastungsstufe 4 bis 5 Minuten. Die Stärke der 1. Belastungsstufe (in Watt) richtete sich nach der für den Patienten von der Anamnese her zu erwartenden Arbeitstoleranz. Mußte nach der jeweiligen Belastungsstufe nicht abgebrochen werden, so wurde diese um 25 Watt erhöht.
Als Abbruchkriterien übernahmen wir die von der WHO gefaßten Empfehlungen (66).
Die intravenöse Injektion von 1-1,5 mCi Tl-Chlorid(Cl) (NEN[4]) erfolgte bei maximaler Belastung, wobei neben den genannten Abbruchkriterien noch folgende Punkte das Belastungsmaximum bestimmten:
- Schwere Erschöpfung
- Schwere Atemnot, so daß der Patient sich unfähig fühlte, länger als eine Minute weiterzutreten
- Altersentsprechende Ausbelastungsherzfrequenz erreicht.

Nach Injektion wurde die Belastung noch 1 Minute fortgesetzt.

4: Tl-201-Cl bereitgestellt von New Englan Nuclear (NEN) in durch 0,9% NaCl-Zugabe isotonisch gemachter Lösung, steril sowie konserviert mit 0,9% Benzylalkohol.

Zur Verminderung der Leber- und der gastrointestinalen Speicherung wurden die Patienten angehalten, 4 bis 5 Stunden vor der Untersuchung nüchtern zu bleiben; zudem erfolgte die Injektion in halbsitzender Position, um auch die pulmonale Aufnahme zu reduzieren. EKG-Streifen wurden in Ruhe vor Belastung, auf jeder Belastungsstufe und 4 Minuten nach Belastung geschrieben.
In der Gruppe I standen 80% der Patienten während der ergometrischen Untersuchung wie auch während der Szintigraphieuntersuchungen prä- und postoperativ unter Digitalismedikation und 70% unter β-Sympathikolytika, während in der Gruppe II 90% Digitalispräparate und nur 20% β-Rezeptorenblocker einnahmen.
Trotz dieser Tatsache und obwohl in der Literatur (40) Angaben über eine Verstärkung der ST-Senkungen bei Belastung unter Digitalismedikation vorliegen, konnten wir digitalisinduzierte muldenförmige ST-Senkungen mit fehlender Absenkung des J-Punktes von horizontalen oder descendierenden ST-Senkungen von $\geq$ 0,2 Millivolt (mV) in den Brustwandableitungen bzw. $\geq$ 0,1 mV in den Extremitätenableitungen mit Absenkung des J-Punktes bei Koronarinsuffizienz unterscheiden.
Zudem waren in der Gruppe I die eventuellen Effekte dieser Medikamente auf Belastungs-EKG und Szintigramm und die Möglichkeit von sich daraus ergebenden Fehlinterpretationen wegen des intraindividuellen Vergleichs und der prä- wie postoperativ gleichartigen Medikation gering einzuschätzen.

Kriterien der Bewertung:

Als Kriterien für das Vorliegen einer Belastungskoronarinsuffizienz (positive Belastungsreaktion) werteten wir, wenn horizontale oder descendierende ST-Senkungen
entweder a) von $\geq$ 0,1 mV in den Extremitätenableitungen
oder b) von $\geq$ 0,2 mV in den Brustwandableitungen
nachgewiesen wurden oder wenn bei den Patienten typische Angina pectoris Schmerzen während der Belastung auftraten.

Für die Annahme einer fehlenden Belastungskoronarinsuffizienz (negative Belastungsreaktion) setzten wir voraus, daß sich keine der oben genannten pathologischen Veränderungen zeigten und daß gleichzeitig der Patient 85% seiner altersentsprechenden Ausbelastungsherzfrequenz (180-Alter) erreicht hatte.
Nicht bewertbar nannten wir Belastungsreaktionen, wenn trotz fehlender Zeichen einer Belastungskoronarinsuffizienz (BCI) 85% der Ausbelastungsherzfrequenz nicht erreicht wurden oder wenn ein Linksschenkelblock die exakte Beurteilung von Endstreckenveränderungen unmöglich machte.

Als Voraussetzung für die Diagnose "zurückliegender transmuraler Infarkt" forderten wir für die in den infarkttypischen Ableitungen auftretenden Q-Zacken folgende Kriterien:
1. Q $\geq$ 0,04 Sekunden (sec)
2. Tiefe von Q $\geq$ 25% der R-Zacke oder absolute Tiefe von 0,4 mV.

3.4 Tl-Szintigraphie

Auch die endgültige Interpretation der Szintigramme hielt sich an die in Teil 3.1 festgelegte Einteilung der Patienten in 2 Gruppen; doch galten bestimmte methodische Grundprinzipien in gleicher Weise für beide Gruppen.
Dies betrifft die Durchführung der Belastungsszintigraphie, die Aufnahme- und Kameratechnik, die Dokumentation, computergesteuerte Korrekturen am ursprünglichen Szintigramm sowie auch einzelne Teile der Auswertung wie Segmenteinteilung, Infarkt- und Ischämiekriterien für Defekte im Szintigramm. Diese methodischen Grundlagen sollen zuerst beschrieben werden.

Aus zwei Gründen verzichteten wir für diese Untersuchung auf die Ruhe- bzw. Redistributionsscans und führten nur Belastungsszintigraphien durch:
1. Wie bereits unter 2.5.9 ausgeführt, ist für das Belastungsszintigramm das Verhältnis Myokard zu Hintergrundaktivität größer und damit die Bildqualität

besser.

2. Wir konnten mit unserem Auswertesystem nach Definition bestimmter Kriterien auch im Belastungsscan transmurale Infarkte von Ischämien gut unterscheiden.

Daher sahen wir den Aufwand einer Redistributionsuntersuchung (für den Patienten hätte dies insgesamt 4 szintigraphische Untersuchungen bedeutet) bei dieser intraindividuellen Studie als nicht gerechtfertigt an.

15 bis 20 Minuten nach der Tl-Injektion begannen wir im Nuklearmedizinischen Institut mit der Szintigraphie, da erst nach dieser Zeit (37) ein optimales Plateau von Myokard zu Hintergrundaktivität zu erwarten ist.

3.4.1 Aufnahmetechnik

Das maximale Auflösungsvermögen der Tl-Szintigraphie liegt bei Aufnahme in nur 1 Projektion bei 2,5 Zentimeter (cm) Läsionsdurchmesser. Durch Anwendung verschiedener Projektionen kann das Auflösungsvermögen, wie COOK et al. (17) an Hand von Phantommodellen feststellten, bis auf 1,0 cm gesenkt werden. Am besten werden die Projektionen als solche erkannt, wenn sie tangential oder direkt von vorne aufgenommen werden. Wir fertigten daher Szintigramme in 4 Projektionen in der Reihenfolge

1. LAO 45° (links anterior oblique)
2. RAO 30° (rechts " ")
3. AP (anterior-posterior)
4. LL (links lateral) an.

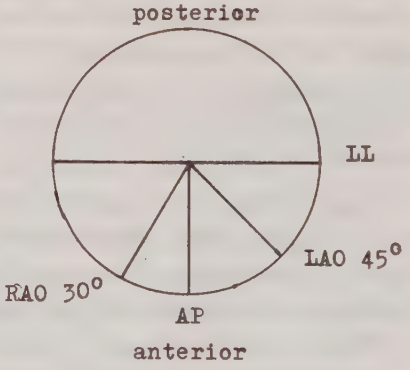


Abb.1 Querschnitt durch den menschlichen Körper mit Einzeichnung der szintigraphischen Projektionen. Blick von kranial.

Für die LAO 45° Aufnahme und die RAO 30° kippten wir die Kamera mit Zählkristall und Kollimator entsprechend; der Patient konnte deshalb auf dem Rücken liegen bleiben. Für die LL-Projektion legte sich der Patient auf die rechte Seite (und die Kollimatorfläche stand wie bei der AP-Aufnahme waagrecht), um hier die ohnehin schlechte Bildqualität ein wenig zu verbessern.

3.4.2 Kamera

Zur Aufnahme benutzten wir eine Picker Dyna Szintil= lationskamera (Angerkamera). Beim Kollimator handelte es sich um einen hochauflösenden "low-energy"-Parallelloch= kollimator mit 16 000 Löchern.
Den Impulshöhenanalysator stellten wir auf den Peak der Hg-Röntgenstrahlung zwischen 68 und 82 kev mit einem "window" um den Peak von 40% ein, wobei pro Szintigramm 500 000 Counts aufgenommen wurden.

3.4.3 Dokumentation

Neben der Registrierung eines Analogbildes auf Röntgen= film wurden die Aufnahmedaten im an die Kamera ange= schlossenen digital pdp 11 Computer durch das Gamma 11 Programm verarbeitet und auf eine Magnetplatte abgespei= chert. Von diesem Rechner wiederum konnte das Datenmate= rial der Magnetplatte auf den Magnetstapel des digital pdp 11 Auswertungsrechners überspielt werden, über den dann eine Farbdarstellung auf einem Conrac-Farbdisplay oder ein Sicogrammausdruck durch den Siemenssicographen gesteuert werden konnte.
Als externe Speichermedien dienten demnach Magnetplatte und Magnetstapel.
Vom Farbdisplay konnten die Szintigramme abphotographiert und später mit einem Diaprojektor vergrößert projiziert werden.
Ein vereinfachtes Blockdiagramm zur Darstellung unserer Szintigraphieeinrichtung zeigt die Abbildung auf Seite 26.

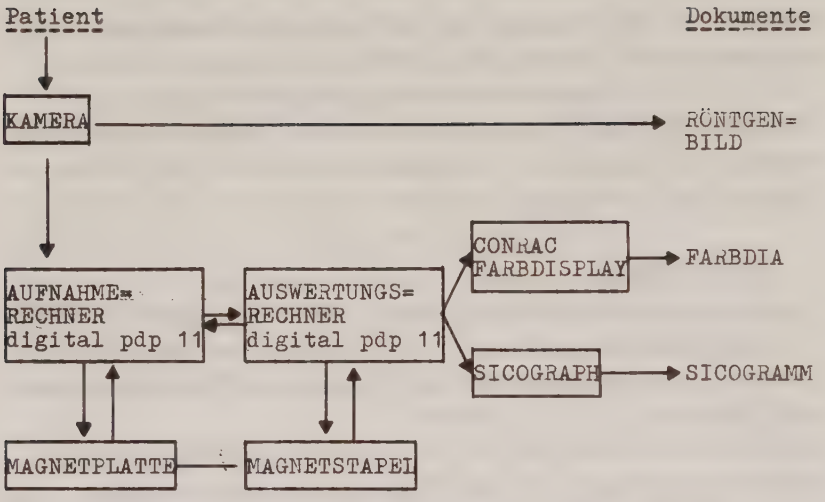


Abb.2 Szintigraphieeinrichtung im Nuklearmedizinischen Institut Tübingen (Erklärung Seite 25)

3.4.4 Computergesteuerte Korrekturen am ursprünglichen Sean

Die Bildqualität des Tl-Szintigramms ist zwar im Vergleich zu anderen myokardaffinen Nukliden als relativ ordentlich zu bewerten, absolut gesehen jedoch noch verbesserungswürdig. Zurückzuführen ist das in der Hauptsache auf die geringe Konzentration des Tl im Herzen gegenüber der Umgebung. Vor der endgültigen Auswertung des Szintigramms haben wir zwei Verfahren der Bearbeitung zur Verbesserung der Bildqualität angewandt.

Das erste , das zunächst geschildert werden soll, haben wir bei allen Patienten durchgeführt und dieses war somit Grundlage für die gesamte Auswertung.

Das zweite , die interpolierende Untergrundsubtraktion, wurde nur bei den 12 Patienten, bei denen ein postoperatives Koronarangiogramm vorlag, erprobt, mit dem Ziel, an Hand der Koronarangiographie als Referenzmethode den Aussagewert dieser beiden Bearbeitungsmöglichkeiten

vergleichend zu überprüfen.

Das erste Verfahren setzte sich aus den Teilschritten Homogenitätskorrektur, einfache Untergrundsubtraktion und, falls nötig, Setzen einer oberen Schwelle zusammen, so daß sich als Bezugssystem jeweils eine Maximalaktivität im Herzen von 100% ergab. Auf die Methode dieser Teil= schritte soll im folgenden eingegangen werden.

Homogenitätskorrektur: Durch das Gamma 11-System waren wir in der Lage statistische Schwankungen zu ver= kleinern. In einem 9-Punkte-Glätteverfahren wurden alle unsere Szintigramme zweimal 9-Punkte geglättet.

Einfache Untergrundsubtraktion: Auf der 128x128 Ma= trix wurden die niedrigsten Impulsstärken pro Zelle gleich 0 und die höchsten gleich 100% gesetzt. Die zwi= schen diesen beiden Impusstärken liegenden Intensitäten unterteilten wir in 16 Farbstufen, wodurch sich Intensi= tätsunterschiede von je 6,25% differenzieren ließen. Je nach Spannbreite zwischen minimaler und maximaler Intensität im Szintigramm lassen sich die dazwischen lie= genden Intensitäten gut oder schlecht unterscheiden. Bei sehr großen Spannbreiten wird die Auflösung mittels der 16 Farbstufen für ein Herz mit beispielsweise mittlerer Tl-Anreicherung nur gering sein. Wir setzten untere und bei Bedarf obere Schwellen, um sowohl sehr hohe als auch sehr niedrige Intensitätsraten an das sta= tistische Normalniveau anzugleichen.

Obere Schwelle: Da die Leberspeicherung zum Teil stark variierte und manchmal bezüglich ihrer Intensität höher lag als die des Herzens, wurde zur Vereinheitli= chung in den Fällen, in denen die maximale Aktivität außerhalb des Herzens lag, die höchste im Herzen selbst registrierte Aktivität gleich 100% gesetzt und damit zum Bezugspunkt gewählt. Betrug beispielsweise die höchste Aktivität im Herzen nur 80% der an anderer Stelle des Szintigramms (meist Leber) gefundenen Maximalaktivität, so wurde eine obere Schwelle von 80% gesetzt und damit stellten sich die außerhalb des Herzens gelegenen

Regionen mit Aktivitäten größer 80% nicht mehr dar. Analog der Untergrundsubtraktion wurde in diesen Fällen das Farbspektrum zwischen 0% und der vorher 80% betragenden, jetzt gleich 100% gesetzten Herzaktivität neu aufgespannt.
Nach NARAHARA et al. (58) wird man dem "wahren" Untergrund des Herzens am ehesten gerecht, wenn man eine untere Schwelle zwischen 20 und 30% wählt.
Wir haben uns für eine untere Schwelle von 30% entschieden. Die untere Schwelle mußte dabei in % der oberen Schwelle angesetzt werden. Betrug zum Beispiel die obere Schwelle 20% (als Extremfall), so wählten wir eine untere Schwelle von 6%, da bei einer fixen Schwelle von 30% die Herzaktivität in diesem extremen Beispiel gar nicht mehr dargestellt worden wäre.

Interpolierende Untergrundsubtraktion: Dieses Verfahren wurde 1976 erstmals von GORIS et al. (32) beschrieben. Das Computerprogramm zur Durchführung dieser Methode wurde nach den in dieser Arbeit gemachten Angaben erstellt. Das Grundprinzip soll erläutert werden.
Zunächst wird um das Herz in möglichst geringem Abstand eine zu den Matrixachsen parallele Rechteckfläche gelegt. Alle Datenpunkte außerhalb des Rechtecks werden mit 0 multipliziert und damit nicht mehr dargestellt, alle Punkte innerhalb des Rechtecks mit 1 multipliziert.
Für jeden Punkt $P(x_p,y_p)$ innerhalb der Rechteckfläche wird von den ihm horizontal rechts und links gegenüberliegenden Rechteckpunkten $P_1(x_1,y_p)$ und $P_2(x_2,y_p)$ sowie von den ihm vertikal oben und unten gegenüberliegenden Rechteckpunkten $P_3(x_p,y_1)$ und $P_4(x_p,y_2)$ ausgehend der Untergrundwert für diesen Punkt interpoliert und dieser errechnete Wert anschließend vom Ausgangswert abgezogen. 2 Interpolationen werden durchgeführt, zum einen zwischen P_1 und P_2, zum andern zwischen P_3 und P_4.
Bezeichnet man den ursprünglichen Speicherwert an einem bestimmten Punkt $P(x_p,y_p)$ mit $|x_p,y_p|$, so ergibt sich

folgende Berechnung des Hintergrundwerts für einen bestimmten Punkt $P(x_p,y_p)$:

Interpolierter Hintergrundwert $H|x_p,y_p| = H_1 + H_2$

wobei $H_1 = |x_p,y_1| + (|x_p,y_2| - |x_p,y_1|) \frac{y_p-y_1}{y_2-y_1}$

und $H_2 = |x_1,y_p| + (|x_2,y_p| - |x_1,y_p|) \frac{x_p-x_1}{x_2-x_1}$

Dieser aus einem 4 mal 9- Punkte geglätteten Scan berechnete Hintergrundwert $H|x_p,y_p|$ wird vom ungeglätteten Ausgangsspeicherwert $|x_p,y_p|$ abgezogen.

Das Prinzip der interpolierenden Untergrundsubtraktion sei an der untenstehenden Abbildung verdeutlicht.

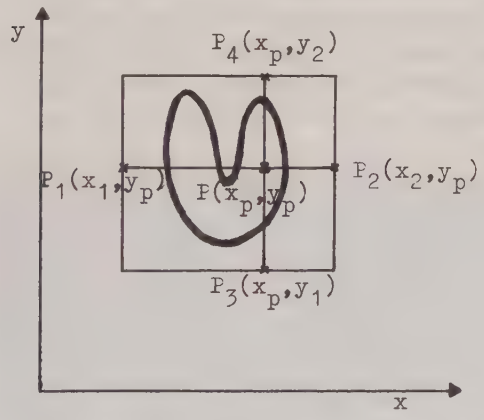


Abb.3 Interpolierende Untergrundsubtraktion: Darstellung der um das Herz gelegten Rechteckfläche mit Einzeichnung der im Text beschriebenen Ausgangspunkte für die Interpolation.

3.4.5 Analyse und Interpretation der Szintigramme

3.4.5.1 Segmenteinteilung

Für das normale Myokardszintigramm sind folgende Einzelheiten- wegen der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Beurteilung- vorausschickend anzumerken:

1. Im allgemeinen, eine Rechshypertrophie ausgenommen, ist nur der linke Ventrikel gut dargestellt, der rechte wegen seiner geringen Masse und der niedrigen Tl-Konzentration/g dagegen nur schwach oder gar nicht sichtbar.
2. Die Aktivität im linken Ventrikel ist bei Normalpersonen gewöhnlich homogen verteilt, mit Ausnahme folgender Regionen:
   - Ventrikelhöhle (zentrale Aktivitätsminderung)
   - Oberer Teil des Herzrings in der LAO-Projektion (Da die Herzform in der LAO-Projektion bei 35% der Patienten hufeisenförmig ist, kommt es zu dieser Variation. Die kranial sich befindende Region mit fehlender Aktivität entspricht dann der Klappenebene.
   - Apexregion (Verminderte Aktivität wird häufig in einem kleinen Bereich an der Spitze beobachtet und entspricht der konischen Ventrikelgeometrie).

Wegen der schlechten Bildqualität der LL-Projektion haben wir in der endgültigen Auswertung auf diese Projektion verzichtet und beschränkten uns damit auf die drei Projektionen LAO 45°, RAO 30° und AP.

Nach McLAUGHLIN et al. (54) teilen wir den linken Ventrikel in 5 szintigraphische Segmente ein (pro Projektion in jeweils drei):

1 septal----------►LAD
2 anterior---►DIAG--►
3 apikal
4 inferior----------►RCA
5 posterolateral----►LCX

Das anteriore und das septale Segment der Szintigramme werden dem Versorgungsgebiet der Arteria descendens anterior (LAD) und ihren großen Ästen (Diagonalisäste (DIAG)

und Septaläste) zugeordnet. Dabei haben wir erstmals- von den koronarangiographisch dargestellten Diagonalästen ausgehend- diese ausschließlich mit dem anterioren Segment in Verbindung gebracht.
Das inferiore Segment ordneten wir der Arteria coronaria dextra (RCA) und das posterolaterale Segment dem Ramus circumflexus (LCX) der linken Kranzarterie (LCA) zu.
Das apikale Segment wurde aus den obengenannten Gründen nicht in die Beurteilung miteinbezogen. Das obere Drittel des septalen Segments in LAO 45° wurde je nach Zugehörigkeit zu einem der beiden Konfigurationstypen beurteilt (Ringform) oder vernachlässigt (Hufeisenform).
Nach der untenstehenden Abbildung ergibt sich für die einzelnen Projektionen folgende Zuteilung der Segmente:

LAO 30° < inferior, apikal, anterior AP < inferior, apikal, anterior LAO 45° < septal, inferior, posterolateral

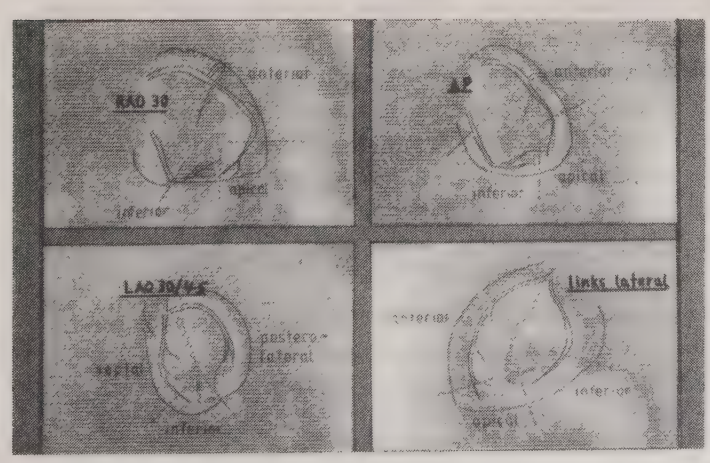


Abb.4 Szintigraphische Segmente des linken Ventrikels mit dazugehöriger koronarer Gefäßversorgung

aus H.EICHSTÄDT (21).

3.4.5.2 Auswertung

Die Auswertung der Szintigramme erfolgte semiquantitativ an Hand der oben beschriebenen Farbskala. Zur Erläuterung seien die ersten 5 Stufen genannt (prozentualer Abfall von der Maximalaktivität im Herzen):

Farbstufe 1	: (0 - 6,25%		
" 2	: (6,25-12,50%	(	=rechts abgeschlossene Klassen
" 3	: (12,50-18,75%		
" 4	: (18,75-25,00%		
" 5	: (25,00-31,25%		

Auf der Basis dieser Farbskala konnten wir Infarkt- und Ischämiekriterien für Defekte im Szintigramm erstellen.

Infarkte: Nach eigenen Untersuchungen an Patienten mit transmuralem Infarkt (EICHSTÄDT et al., 21) und den Angaben von BÜLL et al. (14,15) haben wir bei einem Abfall von $\geq$37,5% ($\triangleq$ einem Abfall der Speicherung um $\geq$7 Farbstufen) in einem Segment einen transmuralen Infarkt angenommen.

Ischämien: Den Angaben von LÜTHOLF et al. (46), LENAERS et al. (43), POHOST et al. (61) zufolge, nach denen die Tl-Myokardspeicherung bei Normalpersonen ungefähr zwischen 75% und 100% variieren kann, haben wir in Übereinstimmung mit MATHEY et al. (50) eine belastungsinduzierte Ischämie dann diagnostiziert, wenn im Szintigramm in einem Segment der Abfall der Speicherung $\geq$25% ($\triangleq$ einem Abfall der Speicherung um 5 Farbstufen) und <37,5% der Maximalaktivität im Herzen betrug.

Zu berücksichtigen ist, daß diese Kriterien strenggenommen nur unter der Voraussetzung einer Untergrundsubtraktion von 30% der maximalen Herzaktivität gelten.

Bevor die detaillierte Methodik der endgültigen Interpretation der Szintigramme für die zwei Gruppen getrennt abgehandelt wird, sollen die einzelnen die Szintigraphie betreffenden Fragestellungen der Arbeit und die zu ihrer Beantwortung erforderlichen Methoden in groben Zügen umrissen werden.

GRUPPE I

Erstens wurden prä- wie postoperativ an Hand der Infarkt=kriterien prä- sowie peri- oder postoperative Infarkte mit Berücksichtigung des EKG- und Ventrikulographiebefun=des identifiziert.

Zweitens wurde mittels der Ischämiekriterien die Perfusion des Gesamtmyokards nach dem Vorkommen oder Nichtvorhan=densein von 25%igen Speicherdefekten prä- wie postopera=tiv beurteilt.

Drittens mußten präoperativ bypassfähige und bypass=bedürftige Segmente mit den postoperativ bypass-versorg=ten Segmenten verglichen werden.

Die postoperative Beurteilung der Bypass-Regionen zielte einmal darauf ab festzustellen, ob sich postoperativ die Perfusion in den betreffenden Segmenten durchschnittlich verbessert hatte (▲), verschlechtert war (▼) oder sich unverändert darstellte (0).(Schema 1).

Schema 1 Postoperative Perfusion in der Bypass-Region im Vergleich zu präoperativ

verbessert	=	▲
unverändert	=	0
verschlech=tert	=	▼

Da präoperativ bei manchen Patienten das von einer signi=fikant stenosierten Arterie versorgte Segment wegen guter Kollateralversorgung keine Ischämiekriterien aufweisen kann, braucht sich postoperativ die Perfusion nicht än=dern und ein unveränderter Perfusionsbefund muß trotz offenem und hämodynamisch wirksamem Bypass abgelesen werden.

Darum versuchten wir neben der erstgenannten Beurteilung nach dem Schema 1 noch eine Aussage über die Funktion des Bypasses zu treffen.(Schema 2).

Ein nach der Szintigrammbewertung offener Bypass (funk=tionstüchtiger Bypass) wurde mit dem Symbol (▲) gekenn=zeichnet. Da einer postoperativen Verschlechterung oder der Persistenz von Ischämiekriterien in einem Segment nicht allein ein Bypass-Verschluß zugrundeliegen kann,

sondern auch ein peri- oder postoperativer Infarkt, eine Narbenrevaskularisation oder auch eine Revaskularisation am falschen Gefäß (EICHSTÄDT u. Mitarb.,22,23), konnte die Diagnose eines Bypassverschlusses aus dem Szintigramm nicht gestellt werden. Der nach unten gerichtete Pfeil symbolisierte eine Bypassdysfunktion, sei es auf Grund eines Bypassverschlusses oder einer der anderen o.g. Möglichkeiten (▽).

Schema 2 Bypassfunktion

regelrechte Bypassfunktion = △

Bypassdysfunktion = ▽

Viertens wurden die übrigen Segmente, die keinen Bypass erhielten, prä- und postoperativ im Hinblick auf die Fragen beurteilt, ob

a) die Revaskularisation unvollständig war
b) durch peri- oder postoperative Infarkte ein Segment sich verschlechtert hatte
c) durch den Bypass auch diese Segmente auf Grund eventuell vorhandener präoperativer Anastomosen profitiert hatten.

GRUPPE II

Wegen des fehlenden präoperativen Scans konnte in dieser Gruppe nur versucht werden, die Bypass-Segmente an Hand unten zu beschreibender Kriterien als normal oder minderperfundiert zu bewerten, woraus dann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine regelrechte Bypassfunktion oder eine Bypassdysfunktion zu schließen war.

Außerdem wurde das Gesamtmyokard postoperativ im Hinblick auf Speicherdefekte beurteilt und präoperativ im Ruhe-EKG und nach dem Ventrikulogramm diagnostizierte Narben wurden postoperativ identifiziert.

3.4.5.3 Detaillierte Darstellung der Auswertungskriterien

Nach der auf Seite 30/31 dargestellten Segmenteinteilung und Zuordnung dieser Segmente zu den einzelnen Gefäßen erhält man bei der Beurteilung von drei Projektionen für das Stromgebiet der LAD 3 Segmente (septal in LAO 45°, anterior in RAO 30° und anterior in AP),
für das der RCA ebenfalls 3 Segmente (inferior in drei Projektionen),
für das der Diagonaläste allein 2 Segmente (anterior in RAO 30° und anterior in AP) und
für das der LCX 1 Segment (posterolateral in LAO 45°).

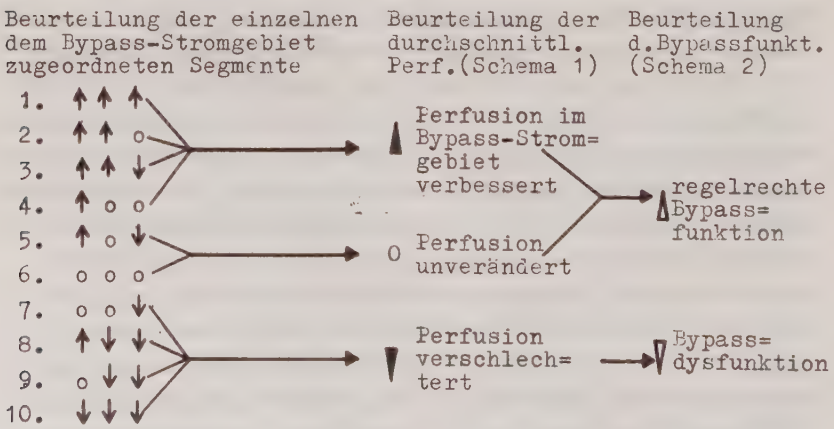
Auf der einen Seite gingen die postoperativen Befunde der verschiedenen Segmente eines Stromgebiets nicht so eindeutig in Richtung Verbesserung oder Verschlechterung jeweils aller Einzelsegmente wie das nach den Angaben der Literatur vielleicht zu erwarten war, auf der anderen Seite mußten beispielsweise bei einem Patienten mit 3-fach Bypass 9 Segmente bezüglich der Frage, ob sie verbessert, gleichgeblieben oder verschlechtert seien, ausgewertet werden. Daher mußten Richtlinien geschaffen werden, um einfache Aussagen über die Myokardfunktion zu ermöglichen. An Stelle von 9 Segmentbeurteilungen über den Myokardzustand eines Patienten mußte das Problem auf eine Aussage über die 3 Hauptgefäße reduziert werden.
Obwohl in bisherigen Arbeiten über die Tl-Szintigraphie als Erfolgskontrolle des acbg von GREENBERG et al. (36), RITCHIE et al. (65) und VERANI et al. (77) jeweils über szintigraphische Aufnahmen in zwei bis drei Projektionen berichtet wurde, liegen keine Angaben vor, wie bei nicht eindeutigen oder sich sogar widersprechenden Befunden die endgültige Diagnose offener oder verschlossener Grafts erstellt wurde. Diagonalis-Anastomosen wurden von diesen Autoren als LAD-Grafts geführt und nicht voneinander abgegrenzt. Eine Möglichkeit der Unterscheidung zwischen dem Zustand des LAD-Bypass' und dem des gleichzeitig angelegten DIAG-Bypass' soll nachstehend beschrieben werden.

Zuerst werden die Kriterien für die Interpretation der Szintigramme der Patienten der Gruppe I dargestellt und hierbei als erstes die Auswertung der Patienten mit LAD-Bypass (ohne gleichzeitigen Diagonalis-Bypass) und/ oder RCA-, LCX- bzw. Marginalis (MARG)-Bypass.
Als zweites soll die Beschreibung der Unterscheidung zwischen LAD- und Diagonalis-Bypass bei gleichzeitiger Anlage und zuletzt die Darstellung der Auswerungskrite= rien für die Gruppe II erfolgen.

Gruppe I,1.:

Den Stromgebieten der LAD und RCA wurden oben jeweils 3 Segmente zugeordnet; wertet man die 3 Segmente (k=3) der jeweiligen Arterie in ihrer Aussagekraft als gleich und beurteilt man das postoperative Segment jeweils nach den Kriterien verbessert (↑), unverändert (o), oder ver= schlechtert (↓) (n=3), wenn eine Zunahme der Speicherung um mindestens 1 Farbstufe oder eine Abnahme um denselben Betrag in einem mindestens 15% des Ventrikelumfangs ein= nehmenden Bereich stattgefunden hat, dann ergeben sich nach der Formel $W(n,k) = \binom{n+k-1}{k}$ ("n+k-1 über k") (6) ohne Berücksichtigung der Reihenfolge

W (3,3)= 10 Kombinationsmöglichkeiten für den Zustand des Stromgebiets der LAD bzw. RCA postoperativ. Diese Möglichkeiten sind im einzelnen:



Um der Variabilität der Tl-Speicherung zum einen, der Durchsichtigkeit zum andern Rechnung zu tragen, haben wir folgende Vereinfachungen getroffen:
Bei Vorliegen der Kombinationsmöglichkeiten 1,2,3,4 nahmen wir eine Verbesserung im Perfusionsgebiet der LAD bzw. RCA an (Schema 1) (▲), wobei wir aber für die Fälle 2,3,4 als Bedingung für diese Annahme voraussetzten, daß in den unveränderten oder verschlechterten Segmenten das Speicherdefizit nicht ≧ 25% betrug. In solchen Fällen wurde das Szintigramm als nicht beurteilbar bezeichnet.
In den Fällen 5 und 6 bewerteten wir den Myokardzustand in den 3 Segmenten als im Durchschnitt unverändert (0). Bei einer ≧ 25%igen Abnahme im Fall 5 war nicht sicher zwischen einer Persistenz oder einer Verschlechterung zu entscheiden. Deshalb wurde in diesem Fall das Szintigramm ebenfalls als nicht beurteilbar bezeichnet.
Die Kombinationen 7 bis 10 sahen wir als Zeichen einer postoperativen Verschlechterung in dem betreffenden Segment an (▼).
Bei der Beurteilung der Bypassfunktion (Schema 2) nahmen wir bei Eintritt der Ereignisse 1 bis 6 eine regelrechte Funktion an (△), vorausgesetzt, daß in keinem der sich unverändert oder verschlechtert darstellenden Segmente der Speicherabfall ≧25% betrug. Kam dieser Fall vor, so sprachen wir bei den Kombinationen 1 bis 5 von einem nicht beurteilbaren Szintigramm, bei der Kombination 6 war die Persistenz eines ≧25% Defekts in 1 Segment ebenso wie in den Fällen 7 bis 10 die durchschnittliche Verschlechterung als Bypassdysfunktion zu werten (▽).

Weil dem Stromgebiet der LCX nur ein Segment angehörte, wurde die Beurteilung des Posterolateral-Segments nach den Kriterien des Schema 1 (Seite 33,36) vorgenommen.
Bei der Beurteilung der ~~Graft~~-patency konnte keine Differenzierung zwischen einem Circumflexabypass und einem Bypass auf den Ramus marginalis sinister vorgenommen werden. In diesen Fällen begnügten wir uns mit einer

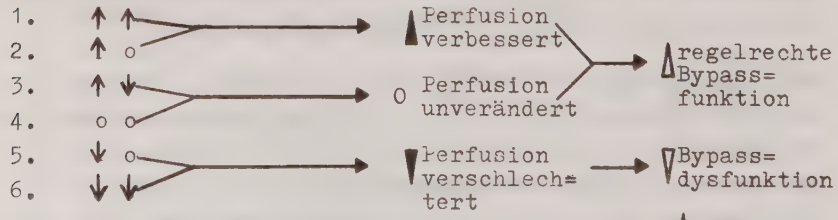
Aussage über einen der beiden Grafts. Für die Feststellung einer regelrechten Bypassfunktion (Δ) verlangten wir eine Verbesserung im Posterolateral-Segment oder die Persistenz einer Speicherminderung im Bereich <25%. Eine Bypassdysfunktion konstatierten wir, wenn ein Speicherdefekt ≥ 25% weiterhin bestand oder eine Abnahme der Speicherung um 1 Farbstufe statthatte.

GRUPPE I,2.:

Bei Vorliegen der Konstellation LAD- und Diagonalis-Bypass bei einem Patienten teilten wir das LAD-Versorgungsgebiet von dem der Diagonaläste ab, indem wir der LAD allein das septale, den Diagonalästen die beiden anterioren Segmente zuschrieben.

Im Bereich der LAD konnten sich damit nur die 3 einfachen Kombinationen ergeben: Verbessert (▲), unverändert (0), oder verschlechtert (▼). Weil für einen LAD-Bypass bei dieser Konstellation wie für einen LCX- oder Marginalis-Bypass nur ein einziges Segment zur Verfügung stand, wurde die Bypassfunktion entsprechend den bei der LCX geschilderten Richtlinien beurteilt.

Den Diagonalis-Bypass betreffend gab es jedoch nach der o.g. Formel, bei gleicher Wertung der anterioren Segmente und ohne Berücksichtigung der Reihenfolge für
n=3 Möglichkeiten und k=2 Segmente
$W(3,2) = \binom{3+2-1}{2} = 6$ Kombinationsmöglichkeiten:



Die Fälle 1 und 2 werteten wir als verbessert (▲), sofern die Speicherung in Fall 2 in dem unverändert gebliebenen Segment >75% erreichte und die Kombination 3 und 4 als

unverändert (0). Lag die Speicherung in den Fällen 2 und 3 in dem verschlechterten oder gleichgebliebenen Segment ≤ 75%, so war eine klare Entscheidung nicht möglich und das Szintigramm daher nicht beurteilbar genannt.
Als Durchschnittsbeurteilung ergab sich für Nummer 5 und 6 das Symbol (▼) als Zeichen der Verschlechterung.
Die Frage der Graft-patency wurde entsprechend dem bisherigen Vorgehen beantwortet: Falls in den Fällen 2 bis 4 die Speicherung in den nicht verbesserten Segmenten >75% betrug, stellten wir die Diagnose eines offenen Grafts. Nicht beurteilbar waren die Stromgebiete dann, wenn im nicht verbesserten Segment ein Abfall ≧25% in Fall 2 und 3 zu verzeichnen war. Die Persistenz eines ≧25%igen Speicherdefekts in einem der Segmente im Fall 4 wurde als Bypassdysfunktion gewertet, wie auch die Kombinationen 5 und 6 ohne Ausnahme so beurteilt wurden.
Bei Anlage eines alleinigen Diagonalis-Bypasses legten wir der Beurteilung ebenfalls nur die 2 anterioren Segmente zugrunde.

GRUPPE II:
Besonders schwierig gestaltete sich die Beurteilung der Patienten mit nur postoperativem Scan, da zudem 8 der 15 Patienten einen Bypass auf ein vorher transmural infarktgeschädigtes Segment erhalten hatten. Dies betraf in 6 der 8 Fälle die LAD, weshalb für dieses Stromgebiet besondere Kriterien zur Bewertung erarbeitet werden mußten.
Die Bypass-Segmente wurden zunächst nach der Güte der postoperativen Perfusion beurteilt. Eine Speicherung im Bereich >75% der maximalen Speicheraktivität in allen Segmenten wurde als normal perfundiert bezeichnet, woraus eine regelrechte Bypassfunktion abzuleiten war (Δ).
Eine Speicherung ≦75% faßten wir als Minderperfusion in dem betreffenden Segment auf, was wir andererseits als Bypassdysfunktion einordneten.
Im allgemeinen wurden die gleichen Unterteilungen gemacht wie bei Gruppe I; dabei galt bei Minderperfusion in einem Segment das entsprechende Stromgebiet als minderperfundiert!

Normal perfundiert in allen Bypass-Segmenten	≙	>75% Speicherung	→ regelrechte Bypass-funktion (Δ)
Minderperfundiert in einem Bypass-Segment	≙	≤75% Speicherung	→ Bypassdys-funktion (▽)

Folgende Ausnahmeregeln waren zu beachten:

1. Bei Anlage eines LAD-Bypass (ohne gleichzeitigen Diagonalis-Bypass) mußte bei normal perfundiertem septalen Segment der präoperativ koronarangiographisch ermittelte Zustand der Diagonaläste und das postoperative EKG auf die Frage eines eventuellen anterolateralen Infarkts hin berücksichtigt werden.
   Lagen entweder präoperativ eine signifikante proximale LAD-Stenose vor dem Diagonalis-Abgang, eine signifikante Diagonalis-Stenose oder ein prä-,peri- oder postoperativer anterolateraler Infarkt vor, mußte eine regelrechte Bypassfunktion angenommen werden.
2. In den Fällen eines LAD-Bypasses auf ein zuvor transmural infarziertes Gebiet wurde das septale Segment in 3 Teile **geteilt** und nur das distale Drittel bewertet. Für diesen Teil galten dann aber wieder die o.g. Kriterien. So wurde bei einer Speicherung >75% im distalen Drittel des septalen Segments und einer ebenfalls >75% igen Speicherung in den beid n anterioren Segmenten oder vorliegender Kriterien der Ausnahmeregel 1 für diese beiden Segmente mit einer regelrechten Bypassfunktion gerechnet.
   Dabei mußte in diesen Fällen angenommen werden, daß schon präoperativ dieses Gebiet von Kollateralen versorgt und vor vollständiger Vernarbung bewahrt worden war, so daß ein Abfluß aus dem Bypass gewährleistet war.

4 ERGEBNISSE

GRUPPE I

4.1 Präoperative Befunde

4.1.1 Koronaranatomie

Alle 25 Patienten hatten präoperativ eine signifikante Stenose in einer der drei Gefäßprovinzen der LAD/DIAG, LCX/MARG, oder RCA. Darunter befanden sich
13 Patienten mit einer 3-Gefäßerkrankung
7 Patienten mit einer 2-Gefäßerkrankung und
5 Patienten mit einer 1-Gefäßerkrankung.
Außer zwei signifikanten LAD-, einer signifikanten Marginalis- und drei signifikanten RCA-Stenosen wurden alle $\geq$75%igen Einengungen, sowie zusätzlich noch Stenosen $\geq$50% und <75% überbrückt. Bei dreien der genannten nicht revaskularisierten Gefäße lag ein transmuraler Infarkt in diesem Gefäßgebiet zurück. Die Verteilung der einzelnen bypassfähigen $\geq$50% bzw. $\geq$75%igen Stenosierungen auf die einzelnen Kranzarterien ist auf Seite 45 wiedergegeben.

4.1.2 Belastungsversuch

Trotz der bei allen 25 Patienten anamnestisch erhobenen Angina pectoris mußte in 2 Fällen auf Grund des vor der Tl-Injektion durchgeführten Belastungs-EKG's das Fehlen einer Belastungskoronarinsuffizienz konstatiert werden. Da bei einem Patienten präoperativ aus technischen Gründen kein EKG geschrieben werden konnte, ergab sich für das Belastungs-EKG eine Sensitivität von

$$p\,(T+\ D+) = \frac{p\,(T+\ D+)}{p\,(D+)} = \frac{21}{24} = 0{,}875 \text{ oder } 87{,}5\%.$$

Die Wahrscheinlichkeit einer positiven Belastungsreaktion ist hierbei mit p(T+) und die Wahrscheinlichkeit einer koronarangiographischen Diagnose einer koronaren Herzkrankheit mit p(D+) bezeichnet. Bei der Berechnung wurden die im Teil 3 beschriebenen Kriterien für eine positive BCI gefordert.

Bei einem Patienten mit Linksschenkelblock wurde, weil das EKG hier die Diagnose nicht stellen ließ und da dieser Patient trotz Erreichen der Ausbelastungsherzfrequenz keine Angina verspürte, der Befund als falsch negatives Ergebnis gewertet. Angaben über die Spezifität sind bei diesem ausgewählten Krankengut nicht sinnvoll, da die p(D+) 100% betrug. Betrachtet man ausschließlich die EKG-Kriterien der Belastungsuntersuchung und vernachlässigt die Anginaangabe, so war das EKG in 5 Fällen negativ. Für das EKG allein ergab sich somit eine Sensitivität von 79%. Wird andererseits nur die während der Belastung aufgetretene AP berücksichtigt, so gaben ebenfalls 5 Patienten keine AP an, womit sich für die Angina pectoris allein als diagnostischer Parameter auch eine Sensitivität von 79% berechnete. Die folgende Abbildung soll die Ergebnisse der Belastungsuntersuchung veranschaulichen:

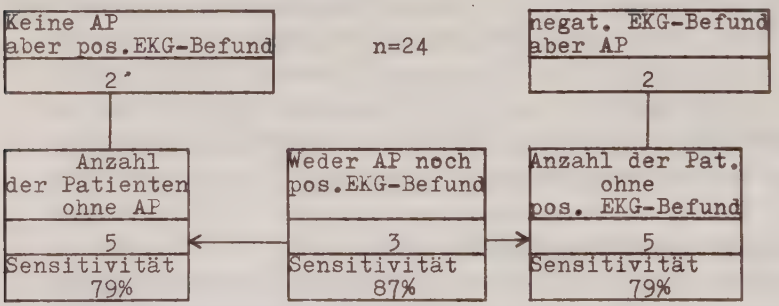


Abb.5 Ergebnisse der Belastungsuntersuchung

Von den Patienten mit negativer BCI hatten 2 eine 2-Gefäßerkrankung, einer eine 3-Gefäßerkrankung. Bei den 2 Patienten mit fehlenden EKG-Veränderungen bestand bei einem eine 1-Gefäßerkrankung mit Verschluß der LAD, beim andern eine 3-Gefäßerkrankung. Bei den Patienten mit positiven EKG-Kriterien ohne Symptomatik lag einmal eine 2-Gefäß- und einmal eine 3-Gefäßerkrankung vor.

4.1.3 Tl-Myokardszintigraphie

4.1.3.1 Identifikation von präoperativen Infarkten

4 von 5 Patienten mit transmuralem Infarkt konnten wir anhand des Kriteriums des Abfallens der Speicheraktivität um mindestens 37,5% segmental verifizieren. Bei einem Patienten mit transmuralem HW-Infarkt ließ sich nur eine Verminderung der Aktivität um 31,25% verifizieren, weshalb dieser Befund als falsch negativ gewertet wurde. Einer der 4 identifizierten transmuralen Infarkte, ein großer VW-Infarkt mit Aneurysma, verursachte in allen Segmenten der LAD $\geq$37,5%ige Speicherausfälle.
Die Sensitivität für die Diagnose eines zurückliegenden transmuralen Infarkts lag demnach bei 80%.
Von den zwei intramuralen Infarkten, die zwei Monate bis sechs Jahre zuvor abgelaufen waren, mußte ein VW-Spitzeninfarkt ausgeschlossen werden, weil sich bei diesem Patienten ein transmuraler Anteroseptalinfarkt schon vorher ereignet hatte und die beiden Infarkte daher segmental nicht differenzierbar waren. Nur 2 der restlichen 9 intramuralen Infarkte zeigten Infarktkriterien.
6 der 7 mit den Infarktkriterien nicht erfaßten Infarkte zeigten zwar Abnahmen der Speicherung zwischen $\geq$25% und <37% waren aber damit nicht von den durch signifikante Stenosen produzierten Speicherdefekten abzugrenzen.
Bei einem Patienten war sogar lediglich ein Defizit von <25% zu verzeichnen. Die infarkttypischen Segmente dieses Patienten befundeten wir daher als normal.
Für die Differenzierung zwischen transmuralen Infarkten und intramuralen Infarkten oder signifikanten Stenosen ergab sich eine Spezifität von p (T-|D-)= $\frac{15}{20}$=0,75 oder 75%, weil neben den 2 Patienten mit intramuralem Infarkt und $\geq$37,5%igen Speicherdefekten noch weitere 3 der 25 Patienten in einem Segment ohne Infarktzeichen im EkG die Infarktkriterien erfüllten.
Somit waren wir in der Lage, ausreichend gut transmurale Infarkte von signifikanten Stenosen bzw. intramuralen Infarkten zu differenzieren; hingegen waren intramurale Infarkte nur unsicher von $\geq$75%igen Gefäßstenosen abgrenzbar.

4.1.3.2 Nachweis der präoperativ bestehenden koronaren Herzkrankheit durch das Szintigramm

Um die präoperativen Szintigrammbefunde mit denen der Belastungsreaktion bzw. denen des EKG's oder der AP-Angabe während der Belastung allein vergleichen zu können, ermittelten wir die Zahl der Patienten, die in keinem der betrachteten Segmente trotz koronarangiographischem Nachweis der koronaren Herzkrankheit einen Speicherdefekt ≧25% aufwiesen. Bei 2 falsch negativen Befunden erreichte die Szintigraphie eine totale Sensitivität von 92% bei diesem nur aus sicher Koronarkranken bestehenden Patientenkollektiv. Die 2 falsch negativen Befunde verteilten sich auf einen Patienten mit einer 1-Gefäßerkrankung der LAD mit hochgradiger Stenose dieses Gefäßes und auf einen weiteren Patienten mit einer 2-Gefäßerkrankung bei ≧75%iger LCX- und RCA-Stenose. Beide Patienten hatten präoperativ eine BCI.

4.1.3.3 Präoperative Identifikation bypassfähiger Stenosen

Weil postoperativ die Verbesserung des Myokardzustandes nicht nur insgesamt sondern auch nach den einzelnen Gefäßprovinzen bzw. den ihnen zugeteilten Segmenten beurteilt werden sollte, mußte präoperativ die Sensitivität der segmentalen Differenzierung der bei der Operation überbrückten Gefäßstenosen bestimmt werden.
In der Tabelle auf Seite 45 sind alle Gefäße mit präoperativ koronarangiographisch gesicherter ≧50%iger Einengung dargestellt, die bei der Operation einen Bypass erhielten. Wurden beim selben Patienten sowohl eine LCX- als auch eine Marginalis-Stenose überbrückt, gingen wir bei der tabellarischen Darstellung wie auch bei der Beurteilung von nur einer Stenose aus, weil wir im Szintigramm diese beiden Gefäße nicht segmental unterscheiden konnten.
Im Fall der Diagonaläste waren von den 11 hier genannten Einengungen nur 4 in diesen Ästen solitär lokalisiert, in 6 Fällen waren die eigentlichen Diagonaläste frei von Stenosen, wurden aber durch eine proximal vom Abgang sich

befindende LAD-Stenose oder durch eine längerstreckige LAD-Stenose im Bereich der Diagonalisabgänge sekundär betroffen. Wir sind uns klar darüber, daß dies nicht mit der angiographischen Definition einer Diagonalisstenose übereinstimmt, aber szintigraphisch ist in diesen Fällen eben auch das Diagonalissegment betroffen.

Gefäß	angiographische Stenose	szintigraphischer Defekt	Sensitivität
LAD	20	18	90 %
DIAG	11	6	54,5%
LCX/MARG	13	6	46 %
RCA	14	11	78,5%
Gesamt	58	41	71 %

Tab.2 Präoperative Belastungsdefekte in bypassfähigen Segmenten im Vergleich zur Angiographie
angiographische Stenose: ≧50% Einengung
szintigraphischer Defekt: ≧25% Speicherabfall

Zu den einzelnen Gefäßen:

LAD: 18 der 20 bei der Operation überbrückten LAD-Stenosen konnten wir im Szintigramm präoperativ wegen eines ≧25%igen Speicherdefekts in einem der LAD-Segmente identifizieren. Die 2 falsch negativen Befunde rührten zum einen von einem Patienten mit 1-Gefäßerkrankung her, dessen Szintigramme in allen Segmenten unauffällig waren, zum andern von einem Patienten mit 3-Gefäßerkrankung und zurückliegendem VW- wie HW-Infarkt, dessen beide Infarkte wir auch nicht identifizieren konnten.

Diagonaläste: Nur bei 6 der 11 stenosierten oder von einer LAD-Stenose betroffenen Diagonalarterien vermochten wir in einem der zwei anterioren Segmente Ischämiekriterien nachzuweisen. 2 der 5 falsch negativen Befunde stammten von Patienten, deren Angiogramme keine eigentliche Diagonalisstenose aufwiesen.

LCX und/oder Marginalisäste: Für dieses Stromgebiet lag die Sensitivität sehr niedrig. 2 der 7 falsch negativen Ergebnisse wurden bei Patienten erhoben, die zwar eine

Marginalisstenose, aber keine LCX-Stenose hatten; bei weiteren 2 Patienten betrug die Einengung des Gefäßes nur 50 bzw. 60%.

RCA: 11 der 14 bypassfähigen Stenosen wurden richtig erkannt, wobei bei 2 der 3 falsch negativen Befunde signifikante Stenosen angiographisch nachgewiesen waren. Bei dem dritten Patienten mit falsch negativem Befund war im Angiogramm eine gute Kollateralisierung der verschlossenen RCA beobachtet worden.

Was die Spezifität angeht, so sind die im folgenden zu nennenden Ergebnisse mit Vorsicht zu beurteilen, da bei allen unseren Patienten die Koronarkrankheit feststand und letztendlich nie genau beurteilt werden konnte, ob nicht auch <50%ige Stenosen hämodynamisch einmal wirksam waren oder ob die Einengung angiographisch richtig eingeschätzt worden war. Zur Berechnung der Spezifität ermittelten wir bei dem vorliegenden Patientengut die <50% stenosierten oder angiographisch freien Gefäße und errechneten aus der Zahl der mit Hilfe des Szintigramms für richtig negativ eingestuften Befunde für das jeweilige Stromgebiet den Wert p (T-|D-).

Den negativen Angiographiebefund der LAD bei 2 Patienten konnte die Szintigraphie jeweils richtig bestätigen. Für die LCX ermittelten wir eine Spezifität von 78% (2 falsch positive Scanbefunde bei 9 Patienten mit negativen Angiographiebefunden der LCX) und für die RCA eine Spezifität von 86% (1 falsch positiver Scanbefund bei 7 Patienten mit negativen Angiographiebefunden der RCA). Für die Diagonalisäste konnte keine Spezifität berechnet werden, weil sie entweder von LAD-Stenosen mitbetroffen oder selbst stenosiert waren. Wir sind uns darüber klar, daß diese Berechnungen statistisch gesehen nicht aussagekräftig sind.

4.1.4 Präoperativer Vergleich: Koronarangiographie-Belastungs-EKG- Tl-Szintigraphie

Vergleichend sollen die präoperativen Ergebnisse von EKG und AP bei der Belastung jeweils allein sowie die Szintigraphiebefunde zusammenfassend an der Angiographie gemessen werden.

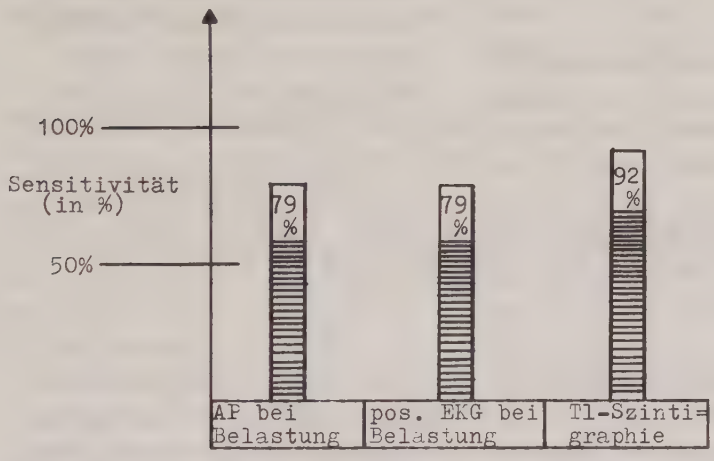


Abb.6 Sensitivität der einzelnen diagnostischen Parameter der koronaren Herzkrankheit (präoperative Befunde, Gruppe 1).

4.2 Operation und postoperative Komplikationen

4.2.1 Zahl und Lokalisation der Grafts

Über Zahl und Lokalisation der Grafts, wie auch was deren Verteilung auf die einzelnen Gefäße betrifft, informiert die Tabelle 3. Von den insgesamt 65 angelegten Grafts wurden bei 10 Patienten gleichzeitig ein LAD- und ein Diagonalis-Bypass angelegt. Da 2 Patienten einen LCX- und einen Marginalis-Bypass gleichzeitig und ein dritter Patient einen LCX- und 2 Marginalis-Grafts sowie ein weiterer Patient 2 Marginalis-Grafts erhalten hatten, reduzierte sich die Aussagefähigkeit der Szintigraphie auf 60 Bypass-Regionen.

Tab.3 Zahl und Lokalisation der Grafts (Gruppe I)

Bypass	Zahl	
	absolut	relativ
LAD	22	34%
DIAG	11	17%
LCX	5	8%
MARG	13	20%
RCA	14	21%
Gesamt	65	100%

2 Grafts (proximal und peripher) bekam ein Patient auf seine diffus stenosierte LAD, ein Patient mußte sich nach Verschluß des in der ersten Operation auf eine Vene anastomosierten Grafts einer Zweitoperation unterziehen. Von diesen 2 Patienten rührt die Differenz zwischen den 58 präoperativen und den 60 postoperativen Bypass-Stromgebieten. Die Zweitoperation des letztgenannten Patienten wurde im Sinne einer weiteren Operation eines Patienten gewertet. Deshalb ist von einer Gesamtzahl von n=26 auszugehen.

4.2.2 Komplikationen

Hier sollen nur die Operationskomplikationen geschildert werden, die vor Aufnahme des Tl-Scans auftraten und die möglicherweise für die postoperative Beurteilung des Szintigramms von Bedeutung waren.
Insgesamt waren bei 10 der 25 Patienten (und 26 Operationen) schwerwiegendere Komplikationen zu verzeichnen.
2 Patienten erlitten postoperativ eine Herzbeuteltamponade und mußten daher rethorakotomiert werden. Der postoperative Verlauf dieser und 2 weiterer Patienten war durch ein zerebrales Postperfusionssyndrom kompliziert. Bei nochmals 2 Patienten wurde ein Postkardiotomiesyndrom diagnostiziert.

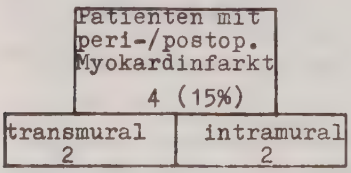


Abb.7 Peri-/Postoperative Infarktkomplikationen

Auf Grund des postoperativ vor der Belastung geschriebenen Ruhe-EKG's mußten wir bei 4 Patienten peri- oder postoperative Infarkte annehmen.

Von diesen 4 Patienten hatten 2 einen transmuralen Infarkt erlitten, welcher in einem Fall durch eine akute Linksherzinsuffizienz kompliziert wurde. Ein zweiter Patient hatte einen transmuralen HW-Infarkt durchgemacht und die restlichen zwei jeweils einen intramuralen VW-Infarkt, der durch den charakteristischen Enzymverlauf einwandfrei von einer postoperativen transitorischen Außenschichtalteration zu trennen war.

4.3 Postoperative Befunde

4.3.1 Nachangiographie

Grafts: 4 der 16 bei den sieben nachkoronarangiographierten Patienten angelegten Grafts waren verschlossen. Zudem war bei einem Patienten mit Verschluß des Bypass die Revaskularisation auf die Vene erfolgt, bei einem andern war ein transmuraler Infarkt im Bereich des Bypassverschlusses abgelaufen. Ein weiterer Patient hatte einen intramuralen VW-Infarkt durchgemacht, sein LAD- und sein Diagonalis-Bypass waren jedoch offen. Über die Verteilung der offenen und verschlossenen Grafts gibt die Tabelle 4 und der tabellarische Vergleich mit der Szintigraphie (Tabelle 18, S.68) Auskunft.

Tab.4 Befunde der Nachangiographie bei 7 Patienten der Gruppe I
Legende: Ø = offener, ● = verschlossener Graft
im= intra-, tm = transmuraler Infarkt
ST= Stenose

Patient	LAD	DIAG	LCX	MARG	RCA	peri-/postop. Infarkt	Native Gefäße
		Bypass					
1. G.G.	●						
2. F.L.	Ø				●	tm.HW-MI	
3. E.O.	Ø		Ø		Ø		
4. H.K.	●	Ø	Ø		Ø		MARG 75% ST
5. P.K.	Ø	Ø				im.VW-MI	
6. P.P.			Ø	Ø			RCA 75% ST
7. O.B.		●			Ø		MARG 75% ST

Native Gefäße: Bei dem Patienten H.K. waren die präoperativ hochgradig stenosierten Gefäße R.Diagonalis und RCA postoperativ bei jeweils offenem Bypass verschlossen. Die RCA des Patienten P.P., der außerdem noch an einer nichtoperierten Aortenstenose litt, konnte nicht revaskularisiert werden. Insgesamt war nur 1 Patient dieser Gruppe postoperativ ohne Bypassverschluß und ohne peri- oder postoperativen Infarkt sowie "vollständig revaskularisiert".

4.3.2 Subjektive Besserung postoperativ

Nach 26 durchgeführten Operationen fühlten sich 21 Patienten besser, hatten weniger oder gar keine Angina pectoris mehr und konnten sich deshalb höheren Belastungen unterziehen. 5 Patienten dagegen gaben keine Besserung des präoperativen Zustandes an. 3 dieser 5 Patienten wurden nachkoronarangiographiert, wobei sich bei 2 Patienten ein verschlossener Bypass ergab. Bei einem dritten nachangiographierten Patienten war eine signifikante RCA-Stenose nicht revakularisiert und eine Aortenstenose nicht operiert, so daß postoperativ die Ursache der persistierenden Schmerzsymptomatik nicht eindeutig abzuklären war.

Bei den 7 zum Teil wegen postoperativ fortbestehender Angina nachangiographierten Patienten ergab sich folgendes Bild: 4 der 7 sahen sich im Vergleich zu präoperativ gebessert, obwohl 2 Patienten einen Bypassverschluß aufwiesen und der eine von diesen sogar einen transmuralen Infarkt erlitten hatte. Ein Patient mit peri- oder postoperativem Infarkt (P.K.) hatte zwei offene Grafts und fühlte sich nach Operation leistungsfähiger.

Tab. 5 Subjektive Besserung postoperativ (Gruppe I)

	Gesamtzahl der Operierten			7 Nachangiographierte	
	abs.	rel.		abs.	rel.
Subjektiv gebessert	21	81%	Subjektiv gebessert	4	57%
Unverändert	5	19%	Unverändert	3	43%

4.3.3 Belastungsversuch

Belastungskoronarinsuffizienz: Gemäß den in Teil 3.3 definierten Kriterien mußten 5 Patienten als nicht beurteilbar gewertet und damit ausgeschlossen werden. 4 hatten die geforderte Ausbelastungsherzfrequenz nicht erreicht, 1 Patient zeigte einen Linksschenkelblock.
Symbolisierte man den Übergang einer präoperativ positiven BCI in eine postoperativ negative mit dem Zeichen (▲), den Übergang im umgekehrten Fall mit dem Zeichen (▼) und nannte man das Persistieren einer BCI unverändert positiv (0+) und das Fehlen derselben prä- wie postoperativ unverändert negativ (0-), kam man zu untenstehenden Ergebnissen (Tab.6). Die ausschließliche Betrachtung der postoperativen Belastungsuntersuchung sowie die Beurteilung der 7 nachangiographierten Patienten sind nachstehend aufgeführt.

Tab.6 BCI: Darstellung der prä-postoperativen Befunde und der nur postoperativen Befunde.
Legende: ▲ = präop. pos. BCI und postop. neg. BCI
0- = präop. wie postop. neg. BCI
0+ = präop. wie postop. pos. BCI
▼ = präop. neg. BCI und postop. pos. BCI

Vergleich prä-postoperativ

Veränderung prä-postop.	Patientenzahl abs.	rel.
▲	10	48%
0-	2	9%
0+	9	43%
▼	-	-
Gesamt	21	100%

Postoperativer Befund

	Pat.zahl abs.	rel.	7 Nachangiogr. abs.	rel.
Positive BCI	12	57%	4	57%
Negative BCI	9	43%	3	43%

Nur 57% hatten postoperativ keine BCI mehr. 3 der 12 Patienten mit negativem EKG und fehlender AP hatten peri- oder postoperativ einen Infarkt durchgemacht.

Angina pectoris bei Belastung: Betrachtet man die Häufigkeit des postoperativen Auftretens der für den Patienten typischen Schmerzsymptomatik allein, so zeigten sich 71% am Fahrradergometer beschwerdefrei. Der 4. Patient mit neuem Infarkt im postoperativen Ruhe-EKG gab keine Schmerzen mehr an, obwohl bei der Belastung ST-Streckensenkungen auftraten. Wenn auch der Patient mit der nicht operierten Aortenstenose sich einige Wochen nach unserer Untersuchung klinisch nicht gebessert fühlte, so registrierten wir bei der Belastung zwar positive EKG-Veränderungen, aber keine Angina pectoris mehr. Ein weiterer Patient mit positiver BCI konnte postoperativ 25 Watt mehr treten, verspürte keine Angina mehr und trotzdem stellten wir signifikante ST-Streckensenkungen fest, die präoperativ nicht vorhanden gewesen waren. Ein letzter Patient hatte prä- wie postoperativ keine Angina bei Belastung, auch sein EKG-Befund war negativ geworden, weshalb dieser Patient bezüglich der Frage der postoperativen AP in die (O-)-Gruppe eingereiht wurde.

Tab.7 AP bei Belastung: Darstellung der prä-postoperativen Befunde und der nur postoperativen Befunde

Legende: ▲ = präop. pos. AP und postop. neg. AP
O-= präop. wie postop. neg. AP
O+= präop. wie postop. pos. AP
▼ = präop. neg. AP und postop. pos. AP

Vergleich prä-postoperativ		
Veränderung prä-poston.	Patientenzahl abs.	rel.
▲	12	57%
O-	3	14%
O+	5	24%
▼	1	5%
Gesamt	21	100%

Postoperativer Befund	Pat.zahl abs.	rel.	7 Nachangiogr. abs.	rel.
Positive AP	15	71%	5	71%
Negative AP	6	29%	2	29%

EKG-Befund bei Belastung: Interpretierte man das EKG für sich allein, so tauchten in 2 Fällen Differenzen zur Belastungskoronarinsuffizienz auf. Ein Patient mit präoperativer Angina aber negativem EKG-Befund hatte postoperativ keine AP bei der um 25 Watt gesteigerten Belastung und der EKG-Befund war ebenfalls wieder negativ. Der Fall des Patienten mit präoperativ fehlenden EKG-Veränderungen, postoperativ aber signifikanten ST-Streckensenkungen ist oben geschildert worden.

Tab.8 EKG bei Belastung: Darstellung der prä-postoperativen Befunde und der nur postoperativen Befunde
Legende: ▲= präop. pos. und postop. neg. EKG-Befund
0-= präop. wie postop. neg. EKG-Befund
0+= präop. wie postop. pos. EKG-Befund
▼= präop. neg. und postop. pos. EKG-Befund

Vergleich prä-postoperativ

Veränderung prä-postop.	Patientenzahl abs.	rel.
▲	9	43%
0-	3	14%
0+	8	38%
▼	1	5%
Gesamt	21	100%

Postoperativer Befund

	Pat.zahl abs.	rel.	7 Nachangiogr. abs.	rel.
Negat. EKG-Befund	12	57%	4	57%
Posit. EKG-Befund	9	43%	3	43%

Daß das postoperative Fehlen einer Angina pectoris nicht als Maßstab des Operationserfolgs gewertet werden kann, ergibt sich nicht nur daraus, daß stattgehabte peri- oder postoperative Infarkte geradezu die negative AP postoperativ determinieren, sondern auch aus der Tatsache, daß 5 der 7 nachangiographierten Patienten, obwohl eigentlich nur 1 Patient vollständig revaskularisiert war, postoperativ keine Schmerzen bei der Belastung aufwiesen. Im einzelnen soll der Vergleich der dargestellten Parameter mit der Angiographie bzw. mit der Tl-Szintigraphie in den Teilen 4.3.5 und 4.3.6 stattfinden.

4.3.4 Tl-Szintigraphie

4.3.4.1 Postoperative Infarktidentifikation

Präoperative transmurale Infarkte: Zwei RCA-Stenosen, die präoperativ einen transmuralen HW-Infarkt verursacht hatten, wurden bei den zwei Patienten mit einem Bypass überbrückt. Beim einen waren postoperativ eher Ischämie- als Narbenkriterien vorhanden, beim zweiten Patienten persistierte ein Speicherdefekt von ca. 30%, der unsere Infarktkriterien nicht erfüllte. Der erste Patient wurde als perfusionsverbessert gewertet, ein offener Bypass wurde angenommen (koronarangiographisch bestätigt), während das Bypass-Stromgebiet des zweiten Patienten entsprechend den Ausführungen in Teil 3.4.5.3 als nicht beurteilbar bezeichnet werden mußte.

Die Speicherung der transmural infarzierten Segmente der weiteren Patienten (ohne Bypass auf diese Segmente) hatte sich postoperativ nicht geändert.

Peri- oder postoperative Infarkte: Die beiden im Ruhe-EKG erfaßten transmuralen Infarkte konnten durch das Szintigramm bestätigt werden. Hinsichtlich der zwei intramuralen Infarkte konnten wir in einem Fall einen präoperativ nicht vorhandenen Speicherdefekt von 25-31% feststellen. Die Verschlechterung in diesem Segment wurde durch das Szintigramm erfaßt. Welche Ursachen dem zugrundelagen, konnte jedoch nicht entschieden werden.

Im Fall des zweiten intramuralen VW-Infarkts erhoben wir einen unveränderten Perfusionsbefund im Stromgebiet der Diagonaläste (Verschlechterung im anterioren Segment der RAO-, Verbesserung im anterioren Segment der AP-Projektion). Da die Speicherung in beiden Diagonalis-Segmenten >75% betrug, stellten wir die Diagnose eines offenen Bypass, was durch die Angiographie bestätigt wurde. Ein Abfall im apikalen Segment um 25% (bis zu Ischämiekriterien) war zwar bemerkenswert, wurde aber wegen der [illegible] Vernachlässigung dieses Segments nicht in die Beurteilung miteinbezogen. Es lag in diesem Fall also ein offener LAD- und Diagonalis-Graft (koronarangiograhisch nachgewiesen)

bei peri- oder postoperativem Infarkt im Stromgebiet der LCA vor.

4.3.4.2 Vergleich der Speicherdefekte prä- und postoperativ

Um Vergleiche zwischen den Befunden der Szintigraphie und den Ergebnissen der Belastungsuntersuchung anstellen zu können, erweiterten wir das in Teil 3.4.5.2 dargestellte Schema der Perfusionsbeurteilung analog der Einteilung der Veränderungen bei der Belastungsuntersuchung, indem wir Patienten, die präoperativ in einem Segment der 3 Projektionen ≧25%ige Speicherdefekte aufwiesen, postoperativ aber keinerlei Speicherdefekte mehr zeigten, das Symbol (▲) zuordneten. Unverändert negativ (0-) nannten wir den vergleichenden Befund bei Patienten, bei denen prä- wie postoperativ keine Speicherdefekte ≧25% festzustellen waren, unverändert positiv (0+) solche, die präoperativ ≧25%ige Speicherdefekte hatten und auch postoperativ persistierende Defekte zeigten. Wenn bei einem Patienten präoperativ kein Speicherdefekt ≧25% vorhanden war, postoperativ aber ein neuer aufgetreten war, so erhielt diese Befundänderung das Symbol (▼).

Um für den Vergleich mit den Ergebnissen der Belastungsuntersuchung vom selben Patientengut und derselben Anzahl ausgehen zu können, sind in der Tab.9 die Ergebnisse der Szintigraphie für die 21 Patienten mit beurteilbarer Belastungsuntersuchung in Klammern angegeben.

Tab.9 Tl-Speicherdefekte: Darstellung der prä-postoperativen Befunde und der nur postoperativen Befunde
Legende: s. Text S.55 und Tab. 6 bis 8

Vergleich prä-postoperativ

Veränderung prä-postop.	Patientenzahl abs.	rel.
▲	8(8)	31(38)%
0-	1(1)	4(5)%
0+	16(12)	61(57)%
▼	1(0)	4(0)%
Gesamt	26(21)	100 %

Postoperativer Befund

	Pat.zahl abs.	rel.	7 Nachangiogr. abs.	rel.
negat. Tl-Scan	9(9)	35(43)%	2	29%
posit. Tl-Scan	17(12)	65(57)%	5	71%

Zu den einzelnen Gruppen:

(▲): 8 (31%) der Patienten, die präoperativ mindestens einen Ischämiedefekt besaßen, waren postoperativ ohne jeden Speicherdefekt, also nach dem Szintigramm mit regelrechter Bypassfunktion und vollständiger Revaskularisation.

(0-): Präoperativ wie postoperativ war ein Patient ohne Defekt.

(0+): Diese Gruppe mußte weiter differenziert werden. Zuvor ist aber noch anzumerken, daß in diese Gruppe per definitionem auch die Patienten mit präoperativem transmuralem Infarkt aufgenommen werden mußten, von deren Speicherdefekten postoperativ keine Normalisierung erwartet werden konnte. Nur in einem Fall von 5 Patienten war das einzige mit einem Speicherdefekt gekennzeichnete Segment nur dem Infarktbereich zuzuordnen. In den anderen Fällen waren postoperativ auch in nicht transmural infarzierten Segmenten Speicherdefekte vorhanden.
Innerhalb der Gruppe (0+) waren 5 Befundkonstellationen zu unterscheiden (Tab.10).

Tab.10 Befundkonstellationen innerhalb der Gruppe (0+) (präoperativ wie postoperativ Speicherdefekte)

Patienten mit altem(n) Speicherdefekt(en), aber auch erfolgreicher Revaskularisation (eines) präop. vorhandener(n) Defekts	6(5)
Patienten mit neuem Speicherdefekt, aber erfolgreicher Revaskularisation aller präoperativ vorhandenen Defekte	1(0)
Patienten mit neuem(n) Speicherdefekt(en), Persistenz eines oder mehrerer alter Defekt. sowie erfolgreicher Revaskularisation (eines) alter(n) Speicherdefekte(s)	2(2)
Patienten mit persistierenden Defekten	6(4)
Patienten mit persistierenden Defekten und neuen Speicherdefekten	1(1)

In Klammern sind die Ergebnisse für die 21 Patienten mit beurteibarer Belastungsuntersuchung angegeben.

Hier soll nicht näher auf die einzelnen Patienten dieser Gruppen eingegangen werden, da dies bei der Darstellung der Ergebnisse der Bypass-Segmente, der Übersicht über die prä- und postoperativen Veränderungen im Restmyokard sowie beim Vergleich zwischen Szintigraphie und Belastungsuntersuchung erfolgen soll.
Abschließend sei an der Abbildung 8 die Veränderung der präoperativen Speicherdefekte verdeutlicht.

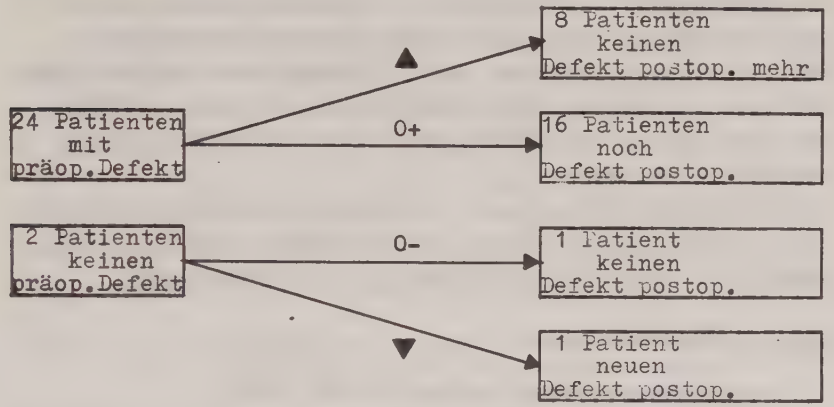


Abb.8 Veränderung der präoperativen Speicherdefekte

4.3.4.3 Bypass-Regionen

Die Tl-Szintigraphie erlaubte im Gegensatz zur Belastungsuntersuchung eine differenzierte Beurteilung der prä- und postoperativen Veränderungen, insbesondere eine differenzierte Beurteilung der verschiedenen Bypass-Regionen.
Wie in Teil 3.4.5.2 dargestellt, wurden die Bypass-Regionen einmal global in ihrer Perfusion nach dem Schema 1 (▲,0,▼) beurteilt und zum andern wurde hieraus die Bypassfunktion abgeleitet und als regelrechte Funktion (△) oder als Bypassdysfunktion (▽) bezeichnet.
Bei 2 Patienten konnte keine endgültige Entscheidung über Perfusion bzw. Bypassfunktion in jeweils einem Stromgebiet getroffen werden; beim einen darum, weil der septale Speicherdefekt postoperativ noch persistierte, anterolateral die Perfusion aber verbessert war.

Die Angiographie ergab eine Revaskularisation am falschen Ort (Vene). Der andere Patient hatte einen persistierenden Speicherdefekt in einem seiner präoperativ transmural infarzierten Segmente. Über ihn wurde im Teil 4.3.4.1 berichtet.
Diese beiden Stromgebiete mußten bei der Statistik der Bypass-Regionen wie auch die Patienten als solche bei zusammenfassenden Aussagen ausgeschlossen werden.
Die Szintigraphie stellte bei 12 (50%) der Patienten für alle angelegten Grafts eine regelrechte Funktion fest. Bei 8 (33%) der Patienten war die Bypassfunktion bei einem Teil der angelegten Grafts regelrecht, bei einem anderen Teil der angelegten Brücken mußte eine Dysfunktion diagnostiziert werden.
In 4 (17%) der Fälle (bei 2 Patienten handelte es sich um einen 1-fach-Bypass) war bei allen Grafts (oder dem einen angelegten Bypass) eine Dysfunktion zu konstatieren.

Tab.11 Bypassfunktion

	n=24 Pat. abs.	rel.
regelrechte Bypassfunktion aller angelegten Grafts	12	50%
z.T.regelrechte Bypassfunktion z.T.Bypassdysfunktion	8	33%
Bypassdysfunktion aller angelegten Grafts	4	17%

Die Diagnose einer ausschließlichen Bypassdysfunktion mußten wir bei einem dieser 4 Patienten stellen, der peri- oder postoperativ einen transmuralen Infarkt erlitten hatte; weiterhin nach der Zweitoperation des Patienten, bei dem der Bypass versehentlich auf die Vene anastomosiert worden war. Dieser Patient fühlte sich zwar unmittelbar postoperativ zunächst besser, einige Monate später aber hatte sich sein Zustand wieder verschlechtert. Eine zweite Nachangiographie wurde nicht durchgeführt.
Der dritte Patient mit Bypassdysfunktion zeigte

präoperativ keinen, postoperativ aber erstmals einen Speicherdefekt. Der postoperative Verlauf des vierten Patienten mit Bypassdysfunktion war durch eine Perikard=tamponade, die den Grund für eine Rethorakotomie dar=stellte, sowie durch ein psychoorganisches Durchgangs=syndrom kompliziert.

Was die Bypass-Stromgebiete insgesamt angeht, so konnten wir 58 Regionen beurteilen. Mit Hilfe des Schema 1 wurden 33 (57%) der Stromgebiete als verbessert, 17 (29%) als verschlechtert und 8 (14%) als unverändert erkannt. Sollte nur die Bypassfunktion (Schema 2) betrachtet wer=den, so ergab sich bei 41 der 58 Bypass-Regionen (71%) für die angelegten Grafts eine regelrechte Funktion, in 17 (29%) aber eine Bypassdysfunktion. Da alle 8 Regionen mit unverändertem Myokardzustand keinen Speicherdefekt ≧25% besaßen, wurden die Grafts dieser Regionen als offen und ihre Funktion als regelrecht gewertet.

Tab.12 Perfusionsbeurteilung und Beurteilung der Bypass=funktion (58 mit Grafts versehene Regionen)

Beurteilung nach Schema 1 (▲,0,▼)	BP-Regionen abs.	rel.	Beurteilung nach Schema 2 (Δ,▽)	BP-Regionen abs.	rel.
▲ verbessert	33	57%	Δ regelrechte Bypassfunktion	41	71%
0 unverändert	8	14%			
▼ verschlechtert	17	29%	▽ Bypassdys=funktion	17	29%

Aufgeteilt auf die einzelnen Gefäße ergab sich für die Perfusionsverhältnisse folgendes Bild (Tab.13):

Tab.13 Beurteilung der Perfusion der einzelnen mit Grafts versehenen Gefäße (nach dem Schema 1)

Beurteilung nach Schema 1	Mit Grafts versehene Gefäße							
	LAD		DIAG		LCX/MARG		RCA	
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
▲	13	62%	5	45,5%	6	46%	9	69%
0	1	5%	1	9 %	5	15%	1	8%
▼	7	33%	5	45,5%	2	39%	3	23%
Gesamt	21		11		13		13	

Was die Funktion der auf die einzelnen Gefäße anastomosierten Grafts angeht, so kamen wir zu untenstehenden Ergebnissen (Tab.14).

Tab.14 Beurteilung der Funktion der einzelnen angelegten Grafts. Legende s. Tab.12

Beurteilung nach Schema 2	Mit Grafts versehene Gefäße							
	LAD		DIAG		LCX/MARG		RCA	
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
▲	14	67%	6	54,5%	11	85%	10	77%
▼	7	33%	5	45,5%	2	15%	3	23%
Gesamt	21		11		13		13	

Die Perfusion der LAD- und RCA-Regionen war in 62% respektive 69% der auf diese Gefäße angelegten Grafts verbessert (Tab.13), die Perfusion der Diagonaläste jedoch nur zu 45% verbessert und auch im gleichen Prozentsatz verschlechtert. 4 der Patienten mit verschlechtertem Diagonalis-Stromgebiet hatten postoperativ Ischämiedefekte in den entsprechenden Segmenten und nur ein Patient wies >75%ige Tl-Speicherung in beiden Projektionen auf, die jedoch jeweils um 1 bis 2 Farbstufen gegenüber präoperativ verringert war.
Auffallend ist weiterhin der hohe Anteil unveränderter Marginalis- bzw. LCX-Regionen und, da die Speicherung sich im Normalbereich bewegte, der daraus resultierende gegenüber der LAD- und RCA-Region hohe Anteil regelrechter Bypassfunktionen. Hier hat sicher die vorne am eigenen Krankengut präoperativ errechnete niedrige Sensitivität der segmentalen Analyse des Posterolateralsegments eine Rolle gespielt. Außerdem wurden bei 3 Patienten jeweils 2 Grafts in dieses Stromgebiet und bei einem Patienten sogar 3 Grafts gelegt, deren einzelne Funktion wir nicht unterscheiden konnten.

4.3.4.4 Vergleich der Befunde der Bypass-Regionen: Angiographie-Szintigraphie

An Hand der 7 nachangiographierten Patienten haben wir die Wertigkeit der Ergebnisse der szintigraphischen Analyse der Bypass-Segmente überprüft. Die Ergebnisse sind in der Tab.15 zusammengefaßt.

Tab.15 Vergleich der Befunde der Bypass-Regionen von Angiographie und Szintigraphie

Bypass-Region	Angiographie		Szintigraphie	
	offener Bypass	BP-Stenose/ BP-Verschluß	BP-Funktion regelrecht	BP-Dysfunktion
LAD	3	2	3	2
DIAG	2	1	2	1
LCX/MARG	4	0	3	1
RCA	3	1	3	1
Gesamt	12(75%)	4(25%)	11(69%)	5(31%)

Sensitivität 75%
Spezifität 83%

Für die 16 angelegten Grafts ergab sich eine Sensitivität der Szintigraphie von $p(T+|D+)= 0,75$ oder 75%, wobei der nicht beurteilbare Befund der Szintigraphie bei dem Patienten mit der Revaskularisation am falschen Ort als falsch negatives Ergebnis gewertet wurde.

Die Spezifität betrug $p(T-|D-)= 0,83$ oder 83%.

Im Falle des einen falsch positiven Ergebnisses haben wir bei dem Patienten mit transmuralem HW-Infarkt neben einer Bypassdysfunktion im HW-Bereich wegen einer Abnahme der septalen Speicherung um 4 Farbstufen auch eine Dysfunktion des LAD-Grafts angenommen; diesem Befund stand der angiographische Nachweis eines offenen LAD-Bypass entgegen. Da bei einem Patienten ein LCX- und ein Marginalis-Bypass gleichzeitig angelegt wurden, wir aber nur eine gemeinsame szintigraphische Aussage über diese posterolaterale Region machen können, gaben wir diesem methodischen Nachteil der Szintigraphie durch die Annahme eines falsch positiven Befundes Gewicht.

Hätte man die Szintigramme der nachangiographierten Patienten nur nach dem postoperativen Befund entsprechend

dem Vorgehen bei der Gruppe II (≥25%iger Speicherdefekt in einem Segment ≙ Bypassdysfunktion) bewertet, dann hätten wir den offenen RCA-Bypass des Patienten mit präoperativem HW-Infarkt und einen weiteren offenen LAD-Bypass bei einem anderen Patienten nicht diagnostizieren können und hätten eine Bypassdysfunktion angenommen.

4.3.4.5 Vergleich der Bypassfunktion bei Patienten mit und ohne präoperativen Infarkt

Bei den 14 Patienten ohne präoperativen Infarkt und bei den 11 Patienten mit präoperativem Infarkt gingen wir der Frage nach, ob ein Unterschied in der Rate der funktionsfähigen Grafts zwischen den 2 Gruppen bestand.
Von 32 angelegten Grafts der Patienten ohne präoperativen Infarkt ergab sich für 23 (71,7%) der Grafts eine regelrechte Funktion, für 9 (28,3%) eine Dysfunktion; während bei der Gruppe mit präoperativem Infarkt von 26 angelegten Grafts 18 (69,3%) regelrecht funktionierten, war bei 8 (30,7%) Grafts dieser Patienten eine Dysfunktion zu erheben.

Tab.16 Vergleich der Bypassfunktion bei Patienten mit und ohne präoperativen Infarkt

	Bypass-Stromgebiete	
Bypass-funktion	Patienten ohne präop. Infarkt	Patienten mit präop. Infarkt
regelrecht	23 (71,7%)	18 (69,3%)
Dysfunktion	9 (28,3%)	8 (30,7%)
Gesamt	32	26

Nach diesen Ergebnissen war bei unseren Patienten auf Grund des Szintigramms zwar eine geringe, aber nur um 2,4% höhere Bypass-Patencyrate für die Patienten ohne präoperativen Infarkt festzustellen.(kein signifikanter Unterschied, $p>0,05$, χ^2-Test).

4.3.4.6 Beurteilung des Restmyokards

61 nicht mit Grafts versehene Segmente wurden postoperativ im Hinblick auf die Frage analysiert, ob gegenüber präoperativ irgendwelche Veränderungen, insbesondere auch als Folge der in der Nachbarschaft angelegten Grafts aufgetreten waren. Veränderungen um mindestens 1 Farbstufe wurden nach dem Schema (↑,↓) (s.Teil 3.4.5.3) beurteilt, bzw. unveränderte Segmente mit dem Zeichen (o) versehen. In 37 (61%) der Segmente fanden wir keine Änderung gegenüber dem präoperativen Befund.

11 mal (18%) waren Segmente verbessert und 13 (21%) der 61 Segmente zeigten sich postoperativ verschlechtert. Diese Ergebnisse sowie der Anteil der jeweiligen mit Speicherdefekten behafteten Segmente ist in der Tab.17 dargestellt.

Tab.17 Beurteilung des Restmyokards

Veränderung prä-postop. (segmental)	Zahl der bypassfreien Segmente		Zahl der bypassfreien Segmente
	abs.	rel.	mit postop. ≥25% Defekt
↑ ver=bessert	11	18%	3
o un=verändert	37	61%	5
↓ ver=schlecht.	13	21%	1
Gesamt	61	100%	9

Zu den gebesserten Segmenten: 5 mal war in den 11 Fällen der gebesserten Segmente das Posterolateralsegment betroffen. Nur in einem Fall konnte eine einleuchtende Erklärung gefunden werden (s. unten).

Mit 2 inferior verbesserten und 2 posterolateral verbesserten Segmenten war der Patient mit der Revaskularisation am falschen Ort beteiligt. Obwohl er im proximalen Teil des septalen Segments noch einen Ischämiedefekt nach der ersten Operation besaß, waren inferiores und posterolaterales Segment trotz verschlossenem Bypass auf die Vene verbessert. Über das Zustandekommen dieser Verbesserungen kann nur spekuliert werden.

Bei einem Patienten mit gleichzeitig zu der Bypass-Operation durchgeführten Aneurysmektomie waren postoperativ die Defekte an der Vorderwand geringer geworden, betrugen aber immer noch >25%. Ob diese Verbesserung auf die Narbenresektion zurückgeführt werden kann, ist heutzutage noch nicht geklärt.

Für 2 der 11 gebesserten Segmente (posterolateral und inferior) war wahrscheinlich ein offener Bypass des Nachbarsegments verantwortlich. In einem weiteren Fall konnten wir eine Verbesserung der Speicherung im anterioren Segment der AP-Projektion bei offenem Marginalis- und LCX-Bypass feststellen.

Zu den verschlechterten Segmenten: 3 der 11 Patienten mit den 13 verschlechterten Segmenten hatten postoperativ schwerwiegende Komplikationen (2 eine Rethorakotomie, einer ein Postkardiotomiesyndrom) durchzustehen; ob damit die jeweilige Verschlechterung in zusammen 5 Segmenten erklärt ist, muß dahingestellt bleiben. In einem der zwei verschlechterten Segmente eines dieser Patienten wurden im Szintigramm transmurale Infarktkriterien nachgewiesen, die aber wegen eines Linksschenkelblocks im EKG nicht bestätigt werden konnten. Ein Patient erlitt einen transmuralen HW-Infarkt; darauf ist die Speicherabnahme im inferioren und im posterolateralen Segment zurückzuführen. Ähnlich ist die im inferioren Segment nachgewiesene Verringerung der Tl-Speicherung bei einem weiteren Patienten zu deuten, dessen LAD-Bypass nach dem Szintigramm nicht regelrecht funktionierte. Für die Speicherabnahme in den letzten 6 Segmenten von 5 Patienten konnte keine Erklärung gefunden werden, da weder postoperative Komplikationen aufgetreten waren noch szintigraphisch eine Bypassdysfunktion in einem angrenzenden Stromgebiet nachgewiesen werden konnte.

4.3.5 Vergleich der Befunde:
Belastungsuntersuchung- Tl-Szintigraphie

Als erstes verglichen wir den prozentualen Anteil der Patienten mit AP bei Belastung prä- bzw. postoperativ mit dem Anteil der Patienten mit positivem EKG-Befund. Diesen Befunden stellten wir den prozentualen Anteil der Patienten mit ≧25%igen Speicherdefekten prä- bzw. postoperativ gegenüber. Bei dem Vergleich schlossen wir die Patienten aus, deren EKG-Befund nicht beurteilbar war. Über diesen Vergleich gibt die Abb.9 Aufschluß.

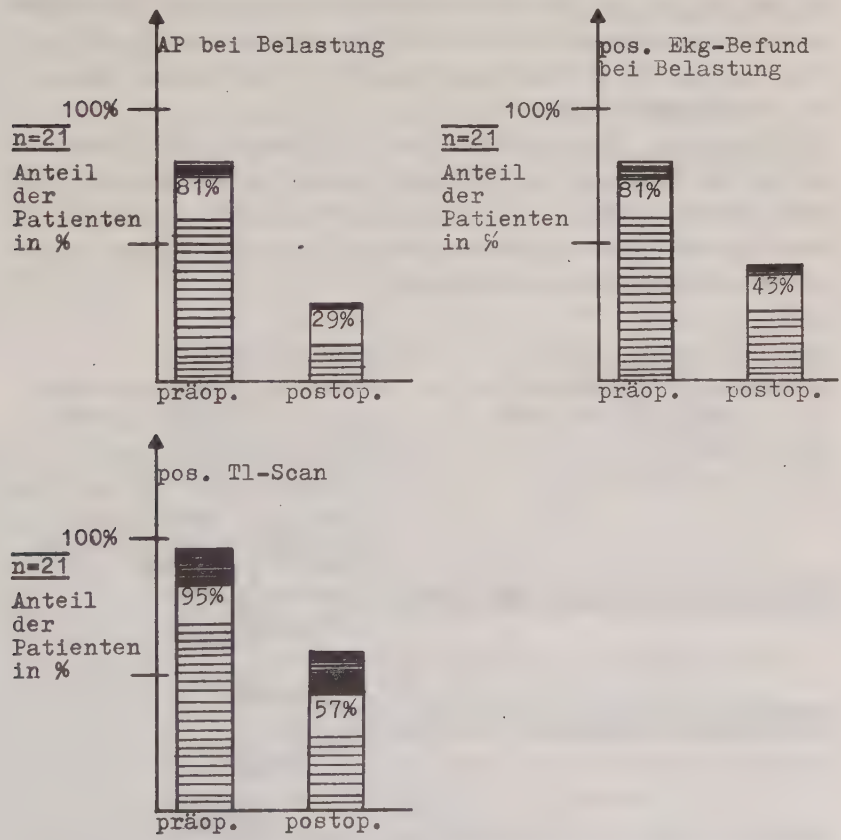


Abb.9 Prä-postoperativer Vergleich zwischen Tl-Szintigraphiebefund, EKG-Befund und Angina pectoris-Angabe bei Belastung

Zweitens untersuchten wir, in welchem Prozentsatz Patienten der in Teil 4.3.3 gebildeten verschiedenen BCI-Gruppen (▲,0-,0+,▼) auch der analogen Speicherdefekt-Gruppe angehörten.

Ad BCI-Gruppe (▲): Die 10 Patienten dieser Gruppe hatten in der Hälfte der Fälle noch szintigraphische Speicherdefekte und gehörten damit dem Befund des Szintigramms nach zur Gruppe mit unverändert positivem(n) Speicherdefekt(en) (0+). Die andern 5 Patienten waren auch auf Grund des Scans der Gruppe (▲) zugeordnet worden.

Ad BCI-Gruppe (0-): Keiner dieser Patienten war mit Hilfe des Scans analog eingestuft worden. Ein Patient hatte im Szintigramm einen (0+) Speicherdefekt, der andere wurde der Gruppe (▲) zugeordnet.

Ad BCI-Gruppe (0+): 6 (66%) der 9 Patienten mit diesem Befund hatten auch bei der Szintigrammbeurteilung den Befund (0+) erhalten. 2 Patienten mit (0+)-BCI hatten im Szintigramm keine Speicherdefekte mehr, ein dritter hatte nie Speicherdefekte aufgewiesen.

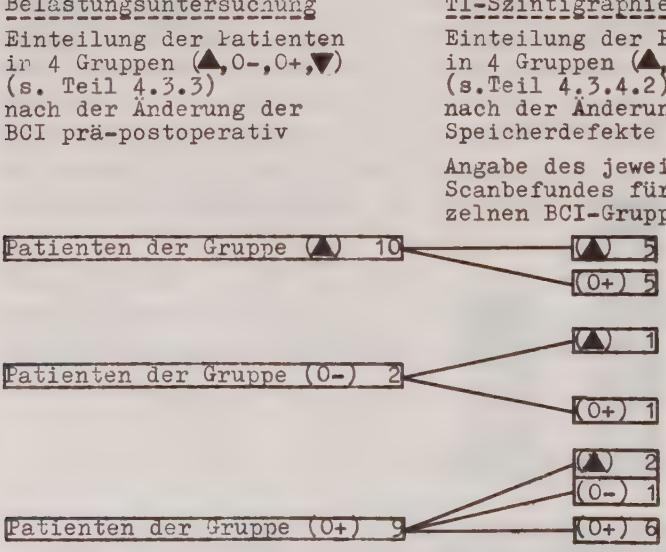


Abb.10 Vergleich der Befunde der Belastungsuntersuchung und der Szintigraphie bei den einzelnen Patienten

Führte man den Vergleich weiter, indem man die nach dem EKG allein gebildeten Gruppen (S.53) bzw. nach der Änderung oder Konstanz der AP allein gebildeten Gruppen (S.52) mit den Szintigraphiebefunden jeweils derselben Patienten konfrontierte, so ergaben sich für diese Parameter allein keine besseren, aber auch keine schlechteren Korrelationen mit der Szintigraphie.
Diese Ergebnisse zeigen, daß die Wahrscheinlichkeit bei Vorliegen einer negativen BCI auch ein völlig normalisiertes Tl-Szintigramm zu erhalten p= 0,5 beträgt. Ist dagegen die BCI positiv, so ist schon mit der Wahrscheinlichkeit p= 0,66 mit einem positiven Scanbefund zu rechnen.

4.3.6 Vergleich der Befunde: Koronarangiographie-Belastungs-EKG- Tl-Szintigraphie

Hier wurde ein zusammenfassender Vergleich der Methoden der Erfolgskontrolle des acbg an den 7 nachangiographierten Patienten durchgeführt.
Die wegen der geringen Anzahl nicht aussagekräfige Spezifität betrug für die BCI 100%, für die Szintigraphie 50%, die Sensitivität 60% respektive 80%.
Der falsch positive Befund stammte von dem Patienten mit dem intramuralen VW-Infarkt peri- oder postoperativ.
Der falsch negative Szintigraphiebefund war bei dem Patienten mit zwar offenen Grafts aber mit einer signifikanten RCA-Stenose, die nicht revaskularisiert worden war, erhoben worden. Wie schon präoperativ, so konnte auch postoperativ kein Speicherdefekt in einem inferioren Segment festgestellt werden.
Die Tab.18 auf S.68 zeigt die Befunde der verschiedenen Methoden bei den einzelnen Patienten. Dabei wurden nur die postoperativen Ergebnisse der Szintigraphie und der Belastungsuntersuchung berücksichtigt, um einen Vergleich mit der postoperativen Angiographie zu gestatten.
Patienten mit offenen und hämodynamisch wirksamen Grafts sowie vollständiger Revaskularisation aller signifikanter Stenosen wurden angiographisch als normal gewertet und

der Befund negativ (-) genannt.
Die Tl-Szintigraphie wurde als negativ gewertet, wenn in keinem der beurteilten Segmente ein Speicherdefekt ≥25% zu registrieren war.

Tab.18 Vergleich der Befunde der Angiographie, des Belastungs-EKG's und der Szintigraphie bei den 7 nachangiographierten Patienten

Legende: Inf= Infarkt | BP= Bypass
transm.= transmural | Ø= offener BP
intram.=intramural | ●= verschlossener BP
Δ= szintigraphisch regelrechte Bypass-= funktion
- Angiographie= offene und hämodynamisch wirksame Grafts sowie vollständige Re= vakularisation aller signifikanter Stenosen
- Tl-Scan= In keinem der beurteilten Segmente Speicherdefekt ≥25%
- BCI s. Teil 3.3

Patient	Angiographie		BCI	Tl-Scan	
	Bypass(Ø,●)	+/-	+/-	Segmentdefekt	+/-
1. G.G.	LAD-BP auf Vene ●	+	+	septal	+
2. F.L.	LAD-BP Ø RCA-BP ●	+	-	septal inferior	+
	peri- oder postoperativer transm. VW-Inf.				
3. E.O.	LAD-BP Ø LCX-BP Ø RCA-BP Ø	-	-		-
4. H.K.	LAD-BP ● DIAG-BP Ø LCX-BP Ø RCA-BP Ø	+	+	septal inferior (aber:Δ)	+
5. P.K.	LAD-BP Ø DIAG-BP Ø	-	-	septal (aber:Δ)	+
	peri- oder postoperativer intram. VW-Inf.				
6. P.P.	LCX-BP Ø MARG-BP Ø	+	+		-
7. O.B.	DIAG-BP ● RCA-BP Ø	+	-	anterior	+
Gesamt		5+/2-	3+/4-		5+/2-
Sensitivität			60%		80%

Das Szintigramm, das Belastungs-EKG und das Angiogramm des Patienten O.E., dessen 3 Grafts auf die LAD, LCX und RCA postoperativ offen waren und szintigraphisch regelrecht funktionierten und dessen Belastungs-EKG postoperativ normal geworden war, zeigen die folgenden Abbildungen:

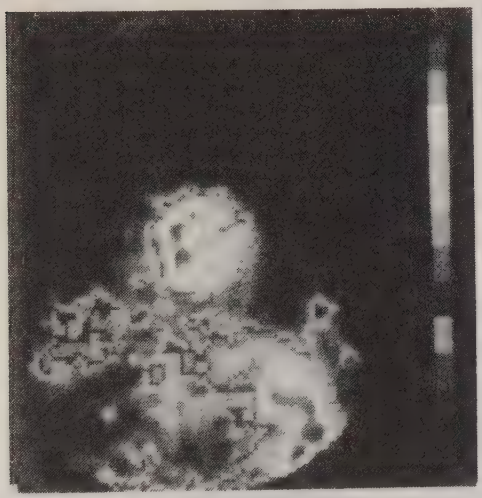


Abb.11

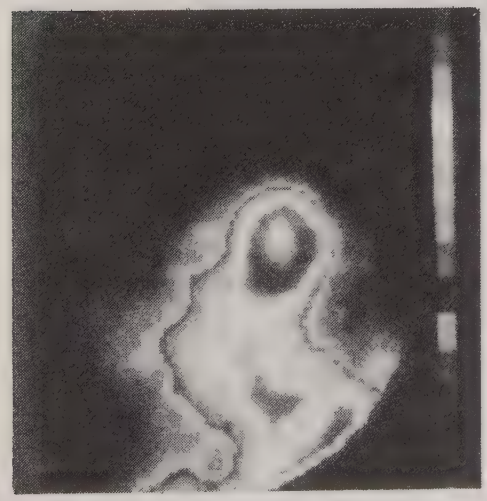


Abb.12

Abb.11 u.12 Tl-Scan des Patienten O.E.

Projektion: LAO 45°

Präop.(Abb.11):Bis 20% Speicherminderung im septalen Segment, >25% Speicherdefekte inferior u. posterolateral.

Postop.(Abb.12):homogene Tl-Speicherung im linken Ventrikel in allen Segmenten.

aus H.EICHSTÄDT et al. (23)

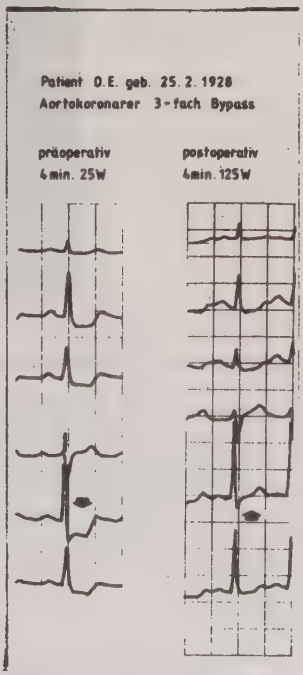


Abb.13 Belast.-EKG

Präoperativer Koronarangiographiebefund des Patienten O.E.:

1) Arteria descendens anterior (LAD): Mehrere dicht hintereinander liegende 70%ige Stenosen. Vgl. dazu in Abb. 11, S.69,das septale Segment auf dem Tl-= Scan.
2) Ramus circumflexus (LCX): Mehrere bis 70%ige Stenosen. Vgl. dazu in Abb.11, S.69,das posterolaterale Segment des Tl-Scan.
3) Arteria coronaria dextra (RCA): 70%ige Stenose. Vgl. dazu in Abb.11, S.69,das inferiore Segment.

Postoperativer Koronarangiographiebefund des Patienten O.E.:

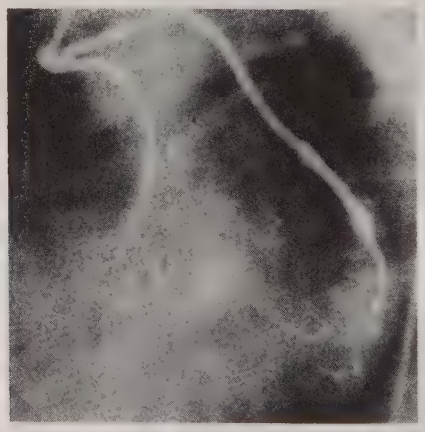


Abb.14 Die postoperative Angiographie zeigt den offenen Y-Graft auf LAD und LCX.
Vgl. dazu in Abb.12 die homogene Tl-Anreicherung im septalen und posterolateralen Segment des Tl-Scan.

GRUPPE II

4.1 Präoperative Befunde

4.1.1 Koronaranatomie

13 der 15 Patienten hatten präoperativ mindestens eine signifikante Stenose, 2 Patienten wiesen nur mittelgradige (zwischen 50 und 75%) Stenosen auf.
Nach dem Gefäßbefall setzte sich diese Gruppe aus
4 Patienten mit einer 1-Gefäßerkrankung
9 Patienten mit einer 2-Gefäßerkrankung und
2 Patienten mit einer 3-Gefäßerkrankung zusammen.
Mit Ausnahme von 4 signifikanten Stenosen in Gefäßen, die im Ausbreitungsgebiet eines transmuralen Infarktes lagen, wurden alle ≥75%igen Einengungen sowie 5 der 7 zwischen 50 und 75% liegenden Stenosen überbrückt. Dabei wurden auch 8 Stenosen von Gefäßen, die in transmural infarziertes Gebiet führten, überbrückt.

4.2 Operation und postoperative Komplikationen

4.2.1 Zahl und Lokalisation der Grafts

Über Zahl und Lokalisation der Grafts gibt die Tab.19 Auskunft.

Tab.19 Zahl und Lokalisation der Grafts (Gruppe II)

Bypass	Zahl absolut	Zahl relativ
LAD	9	39%
DIAG	2	9%
LCX	0	0%
MARG	5	22%
RCA	7	30%
Gesamt	23	100%

Insgesamt wurden 23 Grafts angelegt.
1 Patient erhielt gleichzeitig einen LAD- und einen Diagonalis-Graft.

4.2.2 Komplikationen

Bei 3 Patienten konnten wir schwerwiegendere postoperative Komplikationen eruieren. Ein Patient machte ein Postperfusionssyndrom durch, bei einem zweiten wurde ein Postkardiotomiesyndrom festgestellt und bei einem dritten stellten wir auf Grund des Ruhe-EKG's die Verdachtsdiagnose auf einen transmuralen VW-Infarkt.

4.3 Postoperative Befunde

4.3.1 Nachangiographie

Grafts: Von den insgesamt 10 bei den 5 nachangiographierten Patienten angelegten Grafts waren postoperativ 8 (80%) offen. Bei 2 der als offen bewerteten Grafts wurde jedoch eine 50 bis 70%ige Abgangsstenose festgestellt, die aber der Angiographie nach hämodynamisch nicht wirksam war.
Native Gefäße: Ein Patient hatte präoperativ eine subtotal stenosierte LAD, die postoperativ im proximalen Drittel dann verschlossen war. 2 nicht signifikante Stenosen (mäßiggradige Einengung) wurden bei 2 Patienten diagnostiziert, wobei die LCX-Stenose des einen Patienten präoperativ nur geringgradig verändert war und auch die RCA-Stenose des andern Patienten präoperativ noch nicht so ausgeprägt war.

Tab.20 Befunde der Nachangiographie bei 5 Patienten der Gruppe II
Legende: Ø= offener, ●= verschlossener Graft
Ø= <75% stenosierter Graft
ST= Stenose

Patient	LAD	DIAG	LCX	MARG	RCA	Native Gefäße
		Bypass				
1. A.A.	Ø		Ø		●	
2. K.G.	Ø					RCA 50%ige ST
3. G.L.	Ø	Ø			Ø	LCX 60%ige ST
4. E.S.	Ø					
5. J.W.				Ø	Ø	

4.3.2 Subjektive Besserung postoperativ

12 der 15 Patienten fühlten sich subjektiv nach der Operation gebessert. Bei 2 dieser 12 Patienten stellte sich jedoch Monate später wieder das Beschwerdebild einer Angina pectoris ein. Ein Patient mit angiographisch nachgewiesenem RCA-Bypass-Verschluß, aber mit offenem LCX-Graft hatte postoperativ immer noch AP wie auch ein weiterer Patient, bei dem aber bei der Angiographie ein offener LAD-Bypass gefunden wurde. Die bei diesem Patienten (K.G.) ermittelte mäßiggradige Stenose der RCA wurde für die postoperativ fortbestehende AP verantwortlich gemacht. Der dritte Patient, der postoperativ nicht gebessert war, wurde nicht nachangiographiert. Beide der o.g. zunächst gebesserten, später aber wieder verschlechterten Patienten (G.L. und E.S.) hatten bei der wegen des Wiederauftretens der Schmerzsymptomatik durchgeführten Angiographie offene Grafts. Bei einem Patienten konnte angiographisch kein morphologisches Substrat für die AP gefunden werden, während bei einem andern Patienten eine 60%ige LCX-Stenose als Ursache der AP gewertet wurde.

Tab.21 Subjektive Besserung postoperativ (Gruppe II)

	Gesamtzahl der Operierten	
	abs.	rel.
Subjektiv gebessert	12	80%
Unverändert	3	20%

	5 Nachangiographierte	
	abs.	rel.
Subjektiv gebessert	3	60%
Unverändert	2	40%

4.3.3 Belastungsversuch

Wegen der teilweise ambulanten Nachuntersuchung der Patienten dieser Gruppe konnten 6 (40%) der 15 Patienten nicht ausbelastet werden und daher ihre maximale Ausbelastungsherzfrequenz nicht erreichen, Diese Patienten mußten von der Beurteilung der Belastungs-EKG-Ergebnisse ausgeschlossen werden.

5 (56%) der restlichen 9 Patienten zeigten auch postoperativ noch eine positive BCI. Vier dieser Patienten

waren identisch mit den in Abschnitt 4.3.2 als nicht gebessert beschriebenen Patienten (2 Patienten mit anfänglicher Besserung und späterer Verschlechterung eingeschlossen). Einem Patienten, der sich subjektiv leistungsfähiger fühlte, mußte wegen typischer ST-Streckenveränderungen der Befund positive BCI zugeordnet werden.
Wurde das EKG der Belastung ohne Berücksichtigung der AP-Angabe bewertet, so konnten wir nur bei 4 der Patienten signifikante Endstreckenveränderungen nachweisen. Berücksichtigte man allein die AP-Angabe, so waren es nur noch 3 Patienten, die typische Schmerzen verspürten.

Tab.22 Darstellung der postoperativen Befunde der Belastungsuntersuchung

	Patientenzahl absolut	4 Nachangiogr. absolut
negat. BCI	4	1
posit. BCI	5	3
negat. EKG-Befund	5	1
posit. EKG-Befund	4	3
negat. AP-Angabe	6	2
posit. AP-Angabe	3	2

Die Besprechung der Belastungsuntersuchungsbefunde der Patienten mit postoperativem Angiogramm soll im Zusammenhang mit dem Vergleich zur Szintigraphie erfolgen.

4.3.4 Tl-Szintigraphie

4.3.4.1 Postoperative Infarktidentifikation

Alle präoperativ schon vorhandenen transmuralen Infarkte konnten mit den in Teil 3.4.5.2 beschriebenen Kriterien postoperativ noch identifiziert werden. Demzufolge besaßen auch alle Patienten, bei denen Grafts in transmural infarzierte Regionen gesetzt wurden, noch Speicherdefekte ≥37,5%! Nur in 2 dieser 8 Fälle konnten wir auf Grund einer normalen Speicherung im distalen Drittel der LAD und auf Grund weiterer in Teil 3.4.5.3 definierter Kriterien einen funktionsfähigen Bypass ermitteln.

In den anderen 6 Fällen konstatierten wir eine Bypassdysfunktion, im speziellen eine Narbenrevaskularisation. Der auf das Ruhe-EKG gegründete Verdacht eines transmuralen VW-Infarktes eines Patienten war durch das Szintigramm nicht zu bestätigen. Dieser Patient wies in allen Segmenten eine Speicherung um mehr als 75% der Maximalaktivität auf.

4.3.4.2 Postoperative Speicherdefekte

Insgesamt hatten von den 15 Patienten 12 postoperativ noch Speicherdefekte, was wegen der schon präoperativ vorhandenen transmuralen Infarzierung auch trotz Revaskularisation zu vermuten war. Die 3 Patienten, die postoperativ keine Speicherdefekte zeigten, waren präoperativ ohne Infarktnarben gewesen.
5 der 12 Patienten mit transmuralem Infarkt hatten jedoch auch in Nicht-Infarktregionen noch Speicherdefekte.

Tab.23 Postoperative Speicherdefekte
Legende: - Tl-Scan= Fehlen von Speicherdefekten (Speicherung >75% der maximalen Herzaktivität)
In Klammern: Zahl der Patienten nach Abzug der wegen nicht beurteilbarer Belastungsreaktionen ausgeschlossenen Patienten)

	Pat.zahl abs.	Pat.zahl rel.	5 Nachangiogr. abs.	5 Nachangiogr. rel.
negat.(-) Tl-Scan	3 (3)	20 (33)%	1 (1)	20 (25)%
posit.(+) Tl-Scan	12 (6)	80 (67)%	4 (3)	80 (75)%

4.3.4.3 Bypass-Regionen

Bei 53% der Patienten dieser Gruppe fanden wir mit Hilfe der Tl-Szintigraphie für alle angelegten Grafts eine regelrechte Funktion. 27% der Patienten wiesen sowohl Grafts mit regelrechter wie auch solche mit Dysfunktion auf.

Bei 20% der Patienten konnten wir für alle angelegten Grafts eine Dysfunktion feststellen.

Tab.24 Bypassfunktion

	n=15 Pat. abs.	rel.
regelrechte Bypassfunktion aller angelegten Grafts	8	53%
z.T.regelrechte Bypassfunktion z.T.Bypassdysfunktion	4	27%
Bypassdysfunktion aller angelegten Grafts	3	20%

Nach dem Schema 2 (Δ,∇) beurteilten wir die Funktion der 23 Venengrafts. In 65% der Anastomosen fanden wir eine regelrechte Funktion, während sich in 35% eine Dysfunktion zeigte. Bei 6 der 8 Bypassdysfunktionen ließ sich eine Narbenrevaskularisation eruieren.
Was die Funktion der einzelnen Grafts angeht, so ergaben sich in der Beurteilung im Vergleich zur Gruppe I ähnliche Ergebnisse für die LAD-, Diagonalis- und LCX-Stromgebiete. Nur die Funktion der RCA-Grafts war bei der Gruppe II schlechter.

Tab.25 Beurteilung der Funktion der einzelnen angelegten Grafts

Beurteilung nach Schema 2	Mit Grafts versehene Gefäße LAD abs.	rel.	DIAG abs.	rel.	LCX/MARG abs.	rel.	RCA abs.	rel.	GESAMT abs.	rel.
Δ regelrechte Bypassfunktion	6	67%	1	50%	4	80%	4	57%	15	65%
∇ Bypassdysfunktion	3	33%	1	50%	1	20%	3	43%	8	35%
Gesamt	9		2		5		7		23	

4.3.4.4 Vergleich der Befunde der Bypass-Regionen: Angiographie-Szintigraphie

Von insgesamt 10 bei 5 Patienten angelegten Grafts wurden 2 von der Angiographie als verschlossen erkannt. In beiden Fällen konnte die Szintigraphie dies richtig bestätigen. Bei 6 von 8 mit der Angiographie als offen diagnostizierten Grafts konnte auch die Szintigraphie eine regelrechte Bypassfunktion feststellen.
Im einzelnen ergaben sich untenstehende Befunde (Tab.26).

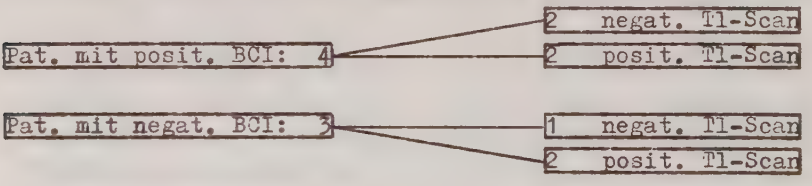
Tab.25 Vergleich der Befunde der Bypass-Regionen von Angiographie und Szintigraphie

	Angiographie		Szintigraphie	
Bypass-Regionen	offener Bypass	BP-Stenose/ BP-Verschluß	BP-Funktion regelrecht	BP-Dysfunktion
LAD	4	-	3	1
DIAG	1	-	1	-
LCX/RAMG	2	-	1	1
RCA	1	2	1	2
Gesamt	8(80%)	2(20%)	6(60%)	4(40%)

Eine Bypass-Stenose diagnostizierten wir erst bei signifikanter Einengung des Grafts im Angiographiefilm.
Der eine falsch positive Befund stammte von einem Patienten mit transmuralem VW-Infarkt und LAD-Bypass auf diese Region. Obwohl wir in diesem Fall nur das distale Drittel des septalen Segments in die Beurteilung miteinbezogen, weil im proximalen und mittleren Drittel Infarktkriterien vorlagen, mußten wir dort einen 25%igen Speicherdefekt festhalten. Der Patient zeigte wie oben beschrieben zusätzlich noch eine 60%ige Abgangsstenose des LAD-Bypass, die bei der Angiographie aber für nicht hämodynamisch wirksam gehalten wurde.
Was den zweiten falsch positiven Befund anging, so ließ sich auch hier eine Stenose (50%) an der aortalen Anastomose nachweisen.

4.3.5 Vergleich der Befunde: Belastungsuntersuchung- Tl-Szintigraphie

Für einen Vergleich zwischen Szintigraphie- und Belastungsuntersuchungsbefund erschienen uns nur 7 der 15 Patienten geeignet, da zum einen bei 6 Patienten der Belastungsbefund nicht beurteilbar war, zum andern weil bei nur 5 Patienten mit präoperativem transmuralem Infarkt noch zusätzliche Speicherdefekte in anderen Gebieten festgestellt werden konnten. Für diesen Vergleich berücksichtigten wir also nur die Patienten, die eine beurteilbare Belastungsuntersuchung vorweisen konnten und die entweder keinen transmuralen Infarkt präoperativ erlitten hatten oder die -falls sie einen Infarkt durchgemacht hatten- noch zusätzliche Speicherdefekte in nicht infarzierten Regionen besaßen. Von den 7 diese Bedingungen erfüllenden Patienten hatten 4 eine positive Belastungskoronarinsuffizienz, 3 einen positiven EKG-Befund und 2 Angina pectoris bei der Belastung. 4 dieser Patienten wiesen auch einen positiven Scan-Befund auf. Es hatten gleich viel Patienten eine positive BCI wie einen positiven Tl-Scan.
Geht man aber von den 4 Patienten mit positiver BCI aus und prüft, ob diese jeweils auch einen positiven Scan hatten, so ergaben sich bei 2 Patienten Speicherdefekte; 2 Patienten hatten aber keine Speicherdefekte.
Fragte man andererseits, ob die 3 Patienten mit negativer BCI auch einen normalen Szintigraphiebefund erhalten hatten, so war dies nur bei 1 Patienten der Fall; 2 dieser Patienten wiesen im Scan signifikante Speicherdefekte auf:



4.3.6 Vergleich der Befunde: Koronarangiographie- Belastungs-EKG- Tl-Szintigraphie

Weil ein Patient seine Ausbelastungsherzfrequenz nicht erreicht hatte, blieben nur 4 Patienten mit postoperativer Angiographie für diesen Vergleich übrig, der deshalb auch nur summarisch dargestellt werden soll.
Bei Annahme gleicher Bedingungen für die Beurteilung der Befunde wie beim analogen Vergleich in der Gruppe I konnten folgende Daten erhoben werden (Tab.27):

Tab.27 Vergleich der Befunde der Angiographie, des Belastungs-EKG's und der Szintigraphie bei 4 nachangiographierten Patienten
Legende: s.Tab.18, S.68
Ø= offener, ●= verschlossener Bypass(BP)

Patient	Angiographie		BCI	Tl-Scan	
	Bypass(Ø,●)	+/-	+/-	Segmentdefekt	+/-
1. A.A.	LAD-BP Ø LCX-BP Ø RCA-BP ●	+	+	inferior	
2. K.G.	LAD-BP Ø	-	+		-
3. G.L.	LAD-BP Ø DIAG-BP Ø RCA-BP Ø	-	+	septal	+
4. J.W.	MARG-BP Ø RCA-BP ●	+	-	posterolateral inferior	+
Gesamt		2+/2-	3+/1-		3+/1-

Der Parameter BCI führte zu 2 falsch positiven Ergebnissen. In diesen Fällen waren im Angiogramm mäßiggradige Stenosen der LCX bzw. der RCA gefunden worden.
Die Belastungsuntersuchung konnte demnach nicht zwischen unvollständiger Revaskularisation bei offenen Grafts und einem Bypassverschluß differenzieren.
Der Patient mit falsch negativem Belastungs-EKG-Befund wies einen verschlossenen RCA-Bypass auf.
Die Tl-Szintigraphie erbrachte ein falsch positives Ergebnis bei dem Patienten mit hämodynamisch nicht wirksamer Abgangsstenose des LAD-Graft.. Dieser Patient hatte präoperativ einen transmuralen Vw-Infarkt erlitten.

4.3.7 Vergleich zwischen einfacher und interpolierender Untergrundsubtraktion

Bei 12 Patienten mit postoperativer Koronarangiographie wurden die nach Anwendung der einfachen Untergrundsubtraktion gewonnenen Ergebnisse mit denen nach Durchführung der interpolierenden Untergrundsubtraktion verglichen und an der Koronarangiographie gemessen.
Für diese Untersuchung entfiel die Unterteilung in 2 Gruppen.
Jedes Szintigramm wurde einer einfachen und einer interpolierenden Untergrundsubtraktion unterzogen.
Insgesamt werteten wir 54 gebypasste Segmente aus, wobei sich in 5 Segmenten Differenzen zwischen dem Befund der einfachen und der interpolierenden Subtraktion ergaben.
Bei 2 der 5 Segmente lag die Bewertung des mit der interpolierenden Untergrundsubtraktion behandelten Scans dem Befund der Angiographie näher als die des einfach untergrundsubtrahierten Szintigramms, während die restlichen 3 Segmente mit der einfachen Subtraktion richtiger beurteilt wurden.
25 Stromgebiete wurden mit dem Schema 2 (Δ,∇) (Beurteilung der Bypassfunktion, s. Teil 3.4.5.2) einer der 2 Möglichkeiten zugeordnet.
3 mal ergaben sich dabei Unterschiede in den Befunden.
Eine Zusammenfassung der genannten Ergebnisse zeigt die Tabelle 28.

Tab.28 Vergleich zwischen einfacher und interpolierender Untergrundsubtraktion. Angabe der Differenzen bei der Beurteilung.

	Gesamt zahl	Differenzen abs.	rel.
Untersuchte Bypass-Segmente	54	5	9%
Nach dem Schema 2 (Δ,∇) erfaßte Bypassfunktionen	25	3	12%

Für die Berechnung der Sensitivität und Spezifität der jeweiligen Untergrundsubtraktionsmethode benutzten wir die Ergebnisse der Beurteilung nach dem Schema 2 (Bypassfunktion) und verglichen diese mit den Befunden der Angiographie. Hierbei bewerteten wir den einfach untergrundsubtrahierten Scan des Patienten mit der Revaskularisation am falschen Ort als nicht beurteilbar, der interpolierend untergrundsubtrahierte Scan jedoch zeigte eine regelrechte Bypassfunktion. So war also in diesem Fall die einfache Subtraktion dem "wahren" Zustand näher gekommen. Für beide Methoden werteten wir aber den Befund bei diesem Patienten als falsch negatives Ergebnis. Damit kamen wir zu folgenden Unterschieden bezüglich Sensitivität und Spezifität der beiden Methoden (Tab.29):

Tab.29 Sensitivität und Spezifität von einfacher und interpolierender Untergrundsubtraktion
Legende: E-BG= einfache Untergrundsubtraktion
I-BG= interpol. Untergrundsubtraktion

	E-BG	I-BG
Sensitivität	83%	67%
Spezifität	84%	90%

Zu beachten ist, daß die Anzahl der wirklich positiven (pathologischen) Szintigramme gering und damit die Aussagekraft der erwähnten Sensitivität klein ist.
Deshalb ist auch der auf den ersten Blick relativ groß erscheinende Sensitivitätsunterschied zwischen den beiden Methoden eingeschränkt zu beurteilen.
Wie das Szintigramm des Patienten H.K. (Abb.15 u.16,S.82) zeigt, ist in diesem Beispiel die Aussagekraft des mit der interpolierenden Subtraktion behandelten Bildes, was den verschlossenen LAD-Bypass und den offenen LCX-Graft angeht, gegenüber dem mit der einfachen Subtraktion korrigierten Bild nicht größer.

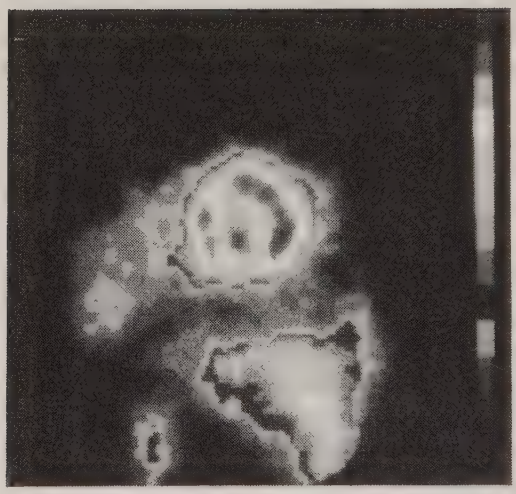


Abb.15 Szintigramm des Patienten H.K. (LAO 45° Projektion) nach Behandlung mit der einfachen Untergrundsubtraktion

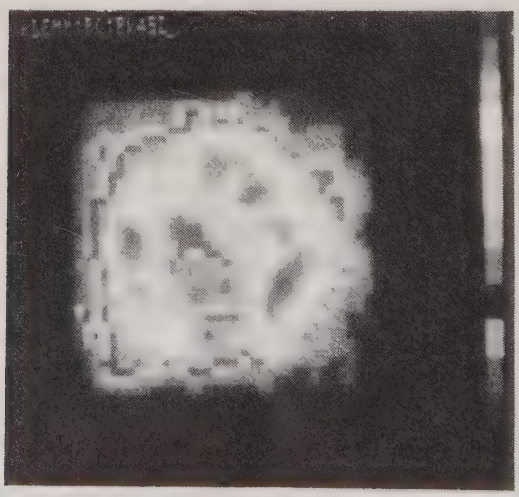


Abb.16 Szintigramm des Patienten H.K. (LAO 45° Projektion) nach Behandlung mit der interpolierenden Untergrundsubtraktion

5 DISKUSSION

Bislang wurde auf den Erfolg des acbg bei Fehlen eines postoperativen Angiogramms auf Grund von klinischem Befund und Belastungs-EKG geschlossen.
Wegen der immer noch ansteigenden Operationszahlen sind sensitivere Methoden zur Erfolgs- und Langzeitkontrolle der Operation von Nöten, insbesondere nicht-invasive Methoden, die der Koronarangiographie -was Komplikationen, Zeitaufwand und Kosten anbelangt- im Hinblick auf ihre routinemäßige postoperative Durchführung überlegen sind.

Die schon 1973 von ZARET et al. (81) propagierte prä-postoperative szintigraphische Untersuchung von Bypasspatienten wurde jedoch erst in neuster Zeit, allerdings nur von sehr wenigen Instituten aufgenommen, wobei jeweils nur eine beschränkte Anzahl von Patienten untersucht wurde. Nur in einer einzigen Arbeit (GREENBERG et al.,36) wurde bisher über eine segmentale Analyse der Bypass-Regionen mit Angabe von Sensitivität und Spezifität der Untersuchung berichtet.

Als einzige weitere nicht-invasive Methode favorisierten erstmals 1972 GOULD et al. (35) die Doppler-Echokardiographie. Untersuchungen von DIEBOLD et al. (19) (1979) zufolge ist die von GOULD noch als sehr niedrig beurteilte Sensitivität zwar verbessert worden, wegen des Problems der Unterscheidung der diastolischen Bypassflüsse von anderen diastolischen Strömungen aber doch noch gering (56%).

Eine Übersicht über die bis zum Abschluß dieser Arbeit vorliegenden Literaturmitteilungen zur Erfolgskontrolle des acbg mit Radionukliden zeigt die Tab.30. Nachstehend sind die von einigen Autoren angegebenen postoperativ noch vorhandenen Speicherdefekte sowie die von GREENBERG et al. ermittelte Sensitivität und Spezifität der segmentalen Analyse zum Vergleich mit der eigenen Untersuchung zusammengestellt (Tab.31).

Tab.30 Übersicht über die bis zum Abschluß dieser Arbeit vorliegenden Literaturmitteilungen

Autoren	Radio=nuklid	Gesamte Zahl d. unters. Pat.	Zahl der untersuchten Patienten		
			Prä-und postop.	Nur postop.	Postop. Koron. angiogr.
1.ZARET(1973)(81) et al.	$^{43}K^{+}$	16	12	4	4
2.LURIE(1975)(47) et al.	$^{81}Rb^{+}$	14	14	-	-
3.ORMAND(1977)(60) et al.	$^{201}Tl^{+}$	16	16	-	7
4.SBARBARO(1977)(67) et al.	$^{201}Tl^{+}$	14	14	-	14
5.RITCHIE(1977)(65) et al.	$^{201}Tl^{+}$	20	20	-	20
6.GREENBERG(1978)(36) et al.	$^{201}Tl^{+}$	27	9	18	25
7.VERANI(1978)(77) et al.	$^{201}Tl^{+}$	23	23	-	-
8.Eigene Studie (1978/79)	$^{201}Tl^{+}$	40	25	15	12

Tab.31 Übersicht über die von einigen Autoren angegebenen postoperativ noch vorhandenen Speicherdefekte

	Zahl der Pat. mit postop. Speicherdef.	Sensitivität/ Spezifität
1.ZARET et al.	69%	
5.RITCHIE et al.	50%	
6.GREENBERG et al.	59%	50%/ 100%
8.Eigene Studie	65%	75%/ 83%

Im folgenden sollen die einzelnen Ergebnisse dieser Arbeit auf ihre klinische Relevanz hin geprüft und an Hand bisher vorliegender Literaturergebnisse für die 2 Gruppen gemeinsam diskutiert werden.

Ad 4.1 Präoperative Befunde

4.1.2 Belastungsversuch

Die Sensitivität bei Forderung der Kriterien einer BCI erwies sich mit 87% als größer, als wenn nur das EKG oder nur die Angina pectoris-Angabe bei Belastung als diagnostische Parameter der koronaren Herzkrankheit eingesetzt wurden (jeweils 79%ige Sensitivität).
Die Befunde, daß keiner der 3 Patienten mit BCI eine 1-Gefäßerkrankung aufwies und nur bei 1 Patienten mit fehlenden EKG-Veränderungen eine solche angiographisch diagnostiziert war sowie die Tatsache, daß keiner der 5 Patienten einen präoperativen Infarkt aufwies, lassen sich nicht mit den in der Literatur angegebenen Ursachenmöglichkeiten für ein falsch negatives Belastungs-EKG wie etwa 1-Gefäßerkrankung, insbesondere der RCA, oder 1-Gefäßerkrankung mit zurückliegendem Infarkt erklären (40).
Andererseits wiederum stimmen die Ergebnisse trotz der relativ geringen Patientenzahl mit der im Schrifttum beschriebenen Sensitivität des Belastungs-EKG's von ungefähr 80% überein (40).

4.1.3 Tl-Myokardszintigraphie

4.1.3.1 Identifikation von präoperativen Infarkten

Transmurale Infarkte konnten bei einer Sensitivität von 80% gut von intramuralen Infarkten bzw. Ischämiedefekten abgegrenzt werden. Intramurale Infarkte ließen sich jedoch nicht sensitiv genug von ischämischen Speicherdefekten differenzieren. Zu ähnlichen Ergebnissen kam unsere Arbeitsgruppe schon früher (EICHSTÄDT et al., 21), wobei wir jedoch noch einen Abfall der Speicherung von 50% der Maximalaktivität forderten. Wegen Anhebung der unteren Schwelle forderten wir für diese Studie 37,5% Speicherabfall.

4.1.3.3 Präoperative Identifikation bypassfähiger Stenosen

Verglichen mit den Ergebnissen der segmentalen Analyse von Tl-Szintigrammen von LENAERS et al. (43) sind unsere

Befunde sehr ähnlich. Der von ihm angegebenen Sensitivität für die Beurteilung von signifikanten LAD-Stenosen von 84% entsprach in unserer Untersuchung eine Sensitivität von 90%. Für LCX- und RCA-Stenosen kamen LENAERS et al. auf eine Sensitivität von 49% respektive 79%, während wir für diese Arterien Sensitivitäten von 46% respektive 78,5% errechneten. Der Grund für die geringe Sensitivität der Beurteilung von LCX-Stenosen liegt zum großen Teil darin, daß für dieses Gefäß nur eine Projektion mit 1 Segment zur Verfügung stand. Während für die Diagonaläste die Zahl der 2 Projektionen mit je 1 Segment noch nicht günstig war, zeigte sich bei den LAD- und RCA-Stenosen der Vorteil der 3 Projektionen in der recht hohen Sensitivität.
Insgesamt ließ sich aus diesen Befunden die Berechtigung ableiten, eine segmentale Analyse auch der postoperativen Szintigramme sowie einen prä-postoperativen Vergleich durchzuführen.

4.1.4 Präoperativer Vergleich: Koronarangiographie-Belastungs-EKG- Tl-Szintigraphie

Wie in den meisten Literaturstellen angegeben (9,64,76) so ergab sich auch bei uns im Vergleich zwischen Szintigraphie und AP-Angabe sowie EKG-Befund bei Belastung für die Szintigraphie eine höhere Sensitivität, die jedoch verglichen mit derjenigen der Belastungsuntersuchung insgesamt (AP-Angabe oder positiver EKG-Befund als positives Ergebnis) nur unbedeutend höher lag. Daß die Sensitivität der Szintigraphie von 92% wegen des ausgewählten Krankenguts von ausschließlich sicher Koronarkranken nicht überbewertet werden darf, sei hier nur angemerkt.

4.3 Postoperative Befunde

4.3.1 Nachangiographie und postoperative Komplikationen

Während die postoperative Komplikationsrate mit 16% noch im Bereich der im Schrifttum beschriebenen Schwankung lag (4,53),betrug die Bypassverschlußrate bei den 7 Nachangio-

graphierten der Gruppe I 25%, was im Vergleich zu der von McINTOSH et al. (53), aber auch von BARMEYER (4) angegebenen oberen Grenze von 20% deutlich höher lag.
Dieser Befund wie auch die zwar mit 20% niedrigere aber immer noch hohe Bypassverschlußrate in der Gruppe II können damit erklärt werden, daß 4 der 7 Patienten der Gruppe I wegen eines positiven postoperativen Tl-Szintigramms oder -wie alle nachangiographierten Patienten der Gruppe II- wegen der Persistenz der AP-Symptomatik nachangiographiert wurden.

4.3.2 Subjektive Besserung postoperativ

81% der Patienten der Gruppe I und 80% der Patienten der Gruppe II fühlten sich postoperativ subjektiv gebessert. Unsere Befunde entsprachen den Angaben von McINTOSH et al. (53), nach denen bis zu 90% der Patienten sich postoperativ gebessert fühlen. Diesen Zahlen standen aber die Ergebnisse der Tl-Szintigraphie gegenüber, die bei nur 50% der Patienten der Gruppe I und 53% der der Gruppe II für alle Grafts eine regelrechte Funktion ermitteln konnte.
Die im Schrifttum beschriebene Erfahrung (5,7), daß Patienten mit peri- oder postoperativem Infarkt sich subjektiv gebessert fühlen, wurde bei dieser Untersuchung in allen 4 Fällen mit peri- oder postoperativem Infarkt in der Gruppe I bestätigt. War bezüglich der Frage, ob der Myokardzustand des Patienten sich im Ganzen wirklich verbessert hatte, die subjektive Besserung als diagnostischer Parameter somit unbrauchbar, so konnte die Angabe einer postoperativ anhaltenden AP bei 3 Patienten der Gruppe I in jedem Fall von der Angiographie eine organische Bestätigung erhalten (zweimal Bypassverschluß, einmal inkomplette Revaskularisation). Auch bei den Untersuchungen der Gruppe II zeigte sich der nicht gebesserte Zustand eines Patienten als spezifisch, zumal wenn man berücksichtigt, daß bei den Patienten mit als falsch positiv beurteiltem subjektivem Befund doch mäßiggradige Stenosierungen in nichtrevaskularisierten Gefäßen angiographisch nachgewiesen werden konnten.

4.3.4 Tl-Szintigraphie

4.3.4.1 Postoperative Infarktidentifikation

Wir stellten bei der Gruppe I postoperativ bei 65% der Patienten und in der Gruppe II (nach Ausschluß der Patienten mit Speicherdefekten in ausschließlich präoperativ transmural infarzierten Regionen) bei 62,5% noch Speicherdefekte fest. Wie aus der Tabelle 31, S. 84 zu entnehmen ist, variieren die Zahlen bei den verschiedenen Untersuchern zwischen 69 und 50%. Daß die Zahl der postoperativen Speicherdefekte ganz maßgeblich von der Tatsache abhängt, ob die Patienten schon präoperativ einen transmuralen Infarkt durchgemacht hatten oder nicht, konnten wir durch die Ergebnisse in der Gruppe II zeigen, obwohl in 8 Fällen der Versuch gemacht wurde, diese Regionen zu revaskularisieren; denn in keinem Fall der 8 Revaskularisationsversuche konnten wir postoperativ eine normale Perfusion der präoperativen Narbensegmente feststellen.

Auch in der Gruppe I war bei den 2 Patienten mit Bypass in das Infarktgebiet keine normale Tl-Speicherung zu registrieren, wenn auch beim einen Patienten postoperativ keine Narbenkriterien mehr vorhanden waren.

Wir konnten damit die Angaben von VERANI et al. (77) nicht bestätigen, nach denen in 3 ihrer untersuchten Fälle mit präoperativem transmuralem Infarkt sich postoperativ eine normale Perfusion ergeben hatte. Weiterhin waren wir präwie postoperativ nicht in der Lage, ausreichend sensitiv prä- wie peri- oder postoperative intramurale Infarkte von Ischämiedefekten bzw. anderen Bypassdysfunktionen zu unterscheiden, während wir transmurale Infarkte gut von intramuralen Infarkten und Ischämiedefekten abgrenzen konnten.

4.3.4.3 Bypass-Regionen u.

4.3.4.4 Vergleich der Befunde der Bypass-Regionen Angiographie-Szintigraphie

Der Vorteil der Tl-Szintigraphie gegenüber anderen nichtinvasiven Methoden wie klinischer Befund und Belastungs-EKG liegt darin, daß nicht nur eine globale Aussage über den

Myokardzustand möglich ist, sondern auch differenziert die einzelnen Bypass-Regionen und damit die Funktion der einzelnen Grafts überprüft werden kann. Weil die Einfach-Grafts in der Minderzahl sind (12% in der Gruppe I) ist gerade diese Möglichkeit der Einzelbeurteilung der Grafts notwendig, da, wie wir zeigen konnten, Patienten mit offenen Grafts aber unvollständiger Revaskularisation mit Hilfe der Belastungsuntersuchung nicht von Patienten mit verschlossenen Anastomosen zu trennen waren. Hierin stimmten unsere Ergebnisse mit denen von McCONAHAY et al. (52) überein.
Genausowenig konnte in unserem Krankengut ein Patient mit 1 verschlossenen, aber 3 offenen Grafts von einem solchen mit total verschlossenen Grafts mit Hilfe von klinischem Befund oder Belastungs-EKG differenziert werden.
Dieser unterschiedliche Grad an differenzierter Aussagekraft zwischen Szintigraphie und Belastungsuntersuchung machte einen Vergleich dieser Methoden problematisch, da die Aussagefähigkeit der Szintigraphie auf ein Maß reduziert werden mußte, um diesen Vergleich überhaupt zu gestatten, der der Sensitivität und Spezifität der Szintigraphie abträglich war.
Die differenzierte segmentale Analyse der Szintigramme zur Erfolgskontrolle des acbg wurde bisher nur von GREENBERG et al. (36) angewandt, jedoch ohne klare Definition der Kriterien zur Beurteilung der von ihm nur in 2 Projektionen durchgeführten Szintigraphie.
In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch erstmals Kriterien für die segmentale Analyse der Szintigramme nach Aufnahme in 3 Projektionen geschaffen. Zusätzlich wurde eine Differenzierung von LAD- und Diagonalis-Grafts eingeführt, deren Ergebnisse bei den 2 Patienten mit LAD- und Diagonalis-Bypass und postoperativem Angiogramm mit den Angiographiebefunden übereinstimmten.

Dabei waren mit den in Teil 3.4.5.2 beschriebenen Kriterien folgende Aussagen über die Bypass-Regionen durch die Tl-= Szintigraphie möglich:

1. Belastungsszintigraphie mit Verbesserung der Tl-Aufnahme in der Bypass-Region oder Konstanz der schon präoperativ normalen Speicherung ——— regelrechte Bypassfunktion

2. Belastungsszintigraphie mit persistierendem Speicherdefekt oder neuem Speicherdefekt ——— Bypassdysfunktion mit folgenden Möglichkeiten:

a) peri- oder postop. intramuraler Infarkt in der Bypass-Region
b) Bypassverschluß bei unverändertem Gefäßstatus
c) Narbenrevaskularisation
d) Revaskularisation am falschen Ort mit Persistenz der wirksamen Stenose

Mit dem auch den präoperativen Befund berücksichtigenden Beurteilungsschema mußten wir bei 33% der Patienten der Gruppe I z.T. regelrechte Graftfunktion und z.T. Bypassdysfunktion gleichzeitig erheben. Bei 17% der Patienten dieser Gruppe sogar eine Bypassdysfunktion in allen Bypass-Stromgebieten.
Insgesamt konstatierten wir bei 29% der angelegten Grafts eine Dysfunktion , was den in der Literatur angegebenen Bypassverschlußraten von 20% im ersten Jahr nach Operation und den 5 bis 20% peri- oder postoperativen Infarktkomplikationen (53) etwa entspricht.

Prä-postoperative oder nur postoperative Tl-Scan-Kontrolle?
Die Zahl der postoperativ angiographierten Patienten in den 2 Gruppen war zu klein und die Zusammensetzung des Patientenguts bei zu 80% transmural infarzierten Patienten in der Gruppe II und nur zu 20% transmural infarzierten Patienten in der Gruppe I war zu different, um die für die beiden

Gruppen getrennt berechneten Sensitivitäten und Spezifitäten miteinander sinnvoll vergleichen zu können. So ließ sich die Frage nicht erschöpfend beantworten, ob allein eine singuläre postoperative Szintigraphie den Operationserfolg beurteilen läßt. Um wenigstens tendenziell eine Antwort auf diese Frage geben zu können, werteten wir die Patienten der Gruppe I allein auf Grund des postoperativen Befundes nach dem einfacheren Bypass-Beurteilungsschema der Gruppe II ($\geq$25%iger Speicherdefekt in einem Segment $\triangleq$ Bypassdysfunktion) aus. Zwischen der differenzierteren prä- und postoperativen Beurteilung und der letztgenannten Beurteilung (allein postoperativ) zeigten sich Differenzen bei 12 Patienten und 12 Bypass-Regionen. 8 mal hätte die ausschließlich speicherdefektorientierte postoperative Bewertung einen verschlossenen Bypass bei diesen Patienten ergeben, während die prä- und postoperative Beurteilung nur in 4 Fällen eine Bypassdysfunktion annahm.
Wie die Tendenz bei den nachangiographierten Patienten schon vermuten ließ (Teil 4.3.4.4), so zeigte sich bei der Berücksichtigung aller Patienten der Gruppe I, daß die allein postoperative Beurteilung weniger aussagekräftig zu sein scheint, entweder zu sensitiv wie in unserem Fall bei einer $\geq$25% gesetzten Ischämieschwelle oder zu spezifisch und zu wenig sensitiv, hätte man die Ischämieschwelle bei $\geq$18% gesetzt.

Sensitivität, Spezifität der segmentalen Analyse der Bypass-Segmente:
Während GREENBERG et al. (36) eine Sensitivität von 50% für die gesamte segmentale Analyse vorweisen konnten, kamen wir, bei allerdings beschränktem nachangiographiertem Krankengut, auf eine Sensitivität von 75%. Andererseits betrug die Spezifität bei GREENBERG 100%, die unsrige dagegen nur 83%. Die Ursache des einen falsch positiven Ergebnisses konnte nicht abgeklärt werden, dafür lag aber dem anderen die Unfähigkeit der Szintigraphie zugrunde, zwischen LCX- und Marginalis-Bypass zu unterscheiden, was wir mit der Annahme

eines falsch positiven Befundes belegten.
Was die Gruppe II betrifft, so konnten wir wie GREENBERG et al. (36) aus dem allein postoperativ vorhandenen Scan eine Diagnose über die einzelnen Bypassfunktionen erstellen.

Voraussagewahrscheinlichkeit (predictive value):
Für die Voraussagewahrscheinlichkeit der segmentalen Analyse (das ist die Wahrscheinlichkeit, nach einem Befund der Bypassdysfunktion im Szintigramm auch eine positive Diagnose von der Angiographie zu erhalten) errechnete sich nach dem Bay'schen Theorem (75) ein Wert von $p(D+|T+)= 0,6$ oder 60%.
Die Wahrscheinlichkeit,nach der Feststellung einer regelrechten Bypassfunktion einen positiven Angiographiebefund zu bekommen, betrug $p(D+|T-)= 0,09$ oder 9%.

4.3.4.5 Vergleich der Bypassfunktion bei Patienten mit und ohne präoperativen Infarkt

In Übereinstimmung mit VERANI et al. (77) konnten wir bei der Gruppe I eine zwar gering bessere, aber nicht signifikant höhere Rate der regelrechten Bypassfunktionen bei Patienten ohne präoperativen Infarkt feststellen.

4.3.4.6 Beurteilung des Restmyokards

In 61% der bypassfreien Segmente stellte sich das Restmyokard postoperativ im Vergleich zu präoperativ unverändert dar. Addiert man die 12 Segmente, für deren Verbesserung oder Verschlechterung ein möglicher Zusammenhang mit der Operation hergestellt werden konnte, zu den 37 unveränderten Segmenten hinzu, so ergab sich eine 80%ige Reproduzierbarkeit der Szintigraphie für die Restsegmente.
Was die Frage nach den Folgen eines offenen Bypass' für die Nachbarsegmente betrifft, so konnten wir in 2 der 11 gebesserten Segmente die Verringerung des Speicherdefizits mit der Wirkung eines funktionierenden Bypass' in Beziehung bringen. Ob dabei, wie in dem Fall des Patienten mit offenem LCX- und Marginalis-Bypass und Verbesserung der Speicherung im anterioren Segment der AP-Projektion Überla-

gerungseffekte eine Rolle gespielt haben oder ob ein durch den Bypass bedingter Zustrom über präoperativ schon vorhandene Kollateralen in das Nachbarsegment stattgefunden hatte, war aus dem Szintigramm nicht abzulesen, darf aber vermutet werden. Weil aber sogar mehr Restsegmente postoperativ verschlechtert waren, konnten wir insgesamt keinen positiven Einfluß der Revaskularisation auf das bypassfreie Restmyokard ermitteln.

4.3.5 Vergleich der Befunde: Belastungsuntersuchung- Tl-Szintigraphie

Eine deutliche Differenz zeigte sich in unserer Untersuchung bei der Gruppe I schon beim Vergleich der postoperativen Speicherdefekte (59% der Patienten) und der postoperativ noch positiven BCI (43% der Patienten).
In der Untersuchung von RITCHIE et al. (65) ergaben sich bei 45% der Patienten noch Speicherdefekte, wobei 40% noch eine positive BCI hatten. In der Arbeit von GREENBERG et al. (36) wiesen postoperativ noch 59% Speicherdefekte und gar 70% eine positive BCI auf. Untersuchte man bei diesen Arbeiten die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Patient mit positiver BCI auch postoperative Speicherdefekte aufwies, so betrug diese bei RITCHIE et al. p= 0,62, bei GREENBERG et al. p= 0,63 und in unserer Untersuchung p= 0,66.
Die Wahrscheinlichkeit bei fehlender BCI auch ein Szintigramm ohne Speicherdefekt zu bekommen, war in der Arbeit von RITCHIE et al. p= 0,58, während sie bei GREENBERG et al. und in unserer Studie p= 0,5 betrug.
Einen positiven wie einen negativen Szintigraphiebefund zu erhalten, war somit beim Fehlen einer BCI in der unsrigen wie in der GREENBERG'schen Arbeit gleich wahrscheinlich.
Diese Ergebnisse unserer Untersuchung bestätigen diejenigen von McCONAHAY et al. (52), nach denen für die Belastungsuntersuchung mit einer relativ guten Spezifität aber sehr niedrigen Sensitivität bei der Erfolgskontrolle des acbg zu rechnen ist. Die Befunde der Gruppe II tendieren

zwar in die gleiche Richtung, doch sind sie wegen der geringen Zahl der beurteilbaren Belastungsuntersuchungen nicht aussagekräftig.

4.3.6 Vergleich der Befunde: Koronarangiographie-Belastungs-EKG- Tl-Szintigraphie

Auch unter vereinfachenden Bedingungen erwies sich die Szintigraphie sensitiver (80%) als die Belastungsuntersuchung (60%). Die 2 falsch negativen Ergebnisee der Belastungsuntersuchung betrafen zweimal Patienten mit einem verschlossenen Bypass, wobei einer dieser Patienten einen transmuralen Infarkt peri- oder postoperativ erlitten hatte.
Auch wenn diese Ergebnisse wegen der geringen Zahlen einer hinreichenden Aussagekraft entbehren, so ist doch eine Tendenz aus dem Vergleich klar zu erkennen:
Die Gefahr falsch negativer Befunde ist bei den Parametern BCI und Angina pectoris, in dieser Untersuchung durch die hohe Spezifität ausgedrückt, besonders groß.
Die Tl-Szintigraphie -ihrer wahrer Möglichkeiten einer differenzierten segmentalen Analyse beraubt und in ihrer Aussagefähigkeit auf eine Speicherdefektidentifikation im Gesamtmyokard beschränkt- neigt eher dazu, einen Patienten nicht erfolgreich revaskularisiert erscheinen zu lassen, was durch die im Vergleich zur Spezifität relativ hohe Sensitivität ausgedrückt wird.

4.3.7 Vergleich zwischen einfacher und interpolierender Untergrundsubtraktion

Die interpolierende Untergrundsubtraktion, die in ihrer Handhabung als komplizierter einzuschätzen ist, hat sich nicht als sensitiver und nur gering spezifischer erwiesen. NARAHARA et al. (58), die in Tierversuchen die wahre Hintergrundaktivität bestimmten, fanden heraus, daß die interpolierende Untergrundsubtraktion die Höhe des wahren Hintergrunds überschätzt. Nach diesen Ergebnissen hätte man eher eine höhere Sensitivität der interpolierenden Subtraktion erwarten müssen, da die interpolierende Untergrundsubtraktion noch Eigenaktivität des Herzens abzieht und damit

die Myokardspeicherung geringer erscheinen läßt. Andererseits aber war die von uns gewählte einfache Untergrundsubtraktion von 30% der maximalen Herzaktivität die obere Grenze der von NARAHARA et al. gegebenen Empfehlung.

Limitationen der Tl-Szintigraphie als Erfolgskontrolle der aortokoronaren Bypass-Operation

1. Die Frage der Reproduzierbarkeit der Tl-Szintigramme ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für einen prä-postoperativen Vergleich.
   Für alle Segmente zusammen errechneten McLAUGHLIN et al. (54) eine Reproduzierbarkeit von 90%, während aber nur bei 64% der Patienten der Gesamt-Szintigraphiebefund reproduzierbar war.
   LUETHOLF et al. (46) konnten Speicherausfälle bis auf eine Genauigkeit von 5% reproduzieren.
   Bei unserem Krankengut ergab sich für die Restsegmente nach Berücksichtigung der wahrscheinlich operationsbedingten Veränderungen in 12 Segmenten eine Reproduzierbarkeit von 80%.
2. Die nicht optimale Sensitivität der segmentalen Analyse setzt der Szintigraphie weitere Grenzen. Da die Sensitivität für die einzelnen Gefäße nach unseren Untersuchungen wie auch nach denen von McLAUGHLIN et al. (54) unterschiedlich, im besonderen für die LAD sehr hoch (90% in unserer Studie), für die LCX jedoch niedrig (46%) sind, müssen diese möglichen Variabilitäten bei der Interpretation der postoperativen Szintigramme berücksichtigt werden.
3. Problematisch wird die postoperative Beurteilung von Szintigrammen auch dann, wenn präoperativ überhaupt keine Speicherdefekte beobachtet werden. Zwar haben wir Kriterien für diese Fälle geschaffen, indem wir bei einer unverändert normalen Speicherung postoperativ eine regelrechte Bypassfunktion angenommen haben; aber in diesen Fällen wird das Szintigramm immer eher zu

sensitiv sein und damit zu falsch positiven Befunden neigen.

4. Bei Patienten, bei denen ein Revaskularisationsversuch in präoperativ transmural infarzierte Regionen unternommen wird, ist die Szintigraphie nicht in der Lage die Diagnose einer Bypassdysfunktion zu stellen.
   Bei Vorliegen eines intramuralen perioperativen Infarkts wird sich die Szintigraphie zwangsläufig entweder als falsch positiv oder falsch negativ erweisen, wenn trotz Infarkt die Grafts offen sind, wie das Beispiel eines Patienten in unserem Krankengut zeigte.
5. Die Aussagekraft solcher Studien wird geschmälert, wenn das Patientengut nicht in ausreichend großer Zahl nachangiographiert wird.

Trotz dieser Einschränkungen erscheint uns nach dieser Untersuchung die nicht-invasive Belastungsszintigraphie des Herzens mit Tl-201 zur Erfolgskontrolle des acbg sensitiver und, was die zum Teil komplizierten postoperativen Myokardverhältnisse angeht, wegen ihrer Fähigkeit zur Differenzierung der einzelnen Bypass-Regionen auch aussagekräftiger als die herkömmlichen Parameter Belastungs-EKG und klinischer Befund.
Dabei ist zudem zu bedenken, daß die Myokardszintigraphie auf Grund der Biochemie des Tl dem "wahren" Myokardzustand in funktioneller Hinsicht näher kommt als die nur die Morphologie beurteilende Koronarangiographie.
Allerdings ergibt sich ein relativ großer finanzieller und technischer Aufwand der Methode mit zusätzlichem Belastungs-EKG, 45 Minuten Szintigraphie und computergesteuerter Auswertung.
Insgesamt wurde mit der postoperativen Myokardszintigraphie eine Methode inauguriert, um den Erfolg einer Operation zu überprüfen, die, gemessen an ihrem Aufwand, in der vorderen Reihe der chirurgischen Techniken steht und die nur in ausgewählten Fällen auf längere Zeit die Lebensqualität des Patienten verbessern kann, deren prognostischer Nutzen

aber in den meisten anderen Fällen noch als umstritten gewertet werden muß.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Unter 40 Patienten mit koronarer Herzkrankheit wurden bei 25 Patienten prä- und postoperativ (Gruppe I) und bei 15 Patienten nur nach aortokoronarer Bypassoperation (Gruppe II) Tl-Myokardszintigramme nach Belastung als nichtinvasive Funktionskontrolle durchgeführt.
Die postoperative angiographische Kontrolle bei 12 der 40 Patienten schloß die Grafts und die nativen Gefäße mit ein.
In der Gruppe I wurden die Szintigramme aller Patienten präoperativ segmental mit Computerunterstützung ausgewertet. Mit einer Sensitivität von insgesamt 71% konnten wir präoperativ die bypassfähigen Versorgungsareale der einzelnen Gefäße als quantifizierte Speicherdefekte erfassen.
Von 5 prä- und 2 peri- oder postoperativen transmuralen Infarkten konnten wir 6 mit Hilfe erstellter Infarktkriterien mit der Szintigraphie bestätigen.
Bei 8 von 24 Patienten, die präoperativ Speicherdefekte aufwiesen, wurden postoperativ keine Defekte mehr gefunden, bei 16 Patienten dagegen sowohl persistierende oder vergrößerte als auch verringerte oder normalisierte Speicherdefekte.
Einer von 2 Patienten, die präoperativ keine Speicherdefekte zeigten, wies postoperativ ebenfalls normale Tl-Speicherung auf, beim zweiten war hingegen postoperativ erstmals ein Defekt aufgetreten.
9 (43%) der Patienten mit beurteilbarem Belastungs-EKG zeigten postoperativ eine positive Belastungsreaktion, jedoch nur bei 66% dieser Patienten konnte auch ein positiver szintigraphischer Befund erhoben werden.
Bei den 12 (57%) Patienten mit negativer Belastungsreaktion wurde in 6 Fällen ein negatives Tl-Szintigramm, aber in den anderen 6 Fällen ein positives Szintigramm ermittelt.
Für die segmentale Analyse der Szintigramme zur Beurteilung der Bypassfunktion wurden ebenso Kriterien erstellt wie für

die differenzierte Beurteilung von LAD- und Diagonalis-= Grafts.
Insgesamt fanden wir bei 50% der Patienten für alle angelegten Grafts eine regelrechte Bypassfunktion, bei 33% der Patienten sowohl regelrechte wie Bypassdysfunktion und in 17% der Fälle ausschließlich eine Bypassdysfunktion. Bei Patienten mit präoperativem Infarkt und bei Patienten ohne präoperativen Infarkt war dabei die Rate der regelrechten Bypassfunktionen nicht signifikant unterschiedlich.

71% der angelegten Grafts funktionierten regelrecht, 29% zeigten eine Dysfunktion.
Bei einer Spezifität von 83% ergab sich für die segmentale Analyse eine Sensitivität von 75%.
Die Szintigraphie erwies sich bei den angiographierten Patienten dem Belastungs-EKG als überlegen.
Auch bei den Patienten der Gruppe II mit nur postoperativem Scan konnten wir segmental die Bypass-Stromgebiete differenzieren und die Funktion beurteilen.

Eine Normalisierung der Tl-Speicherung nach Anlage eines Bypass' in präoperativ transmural infarziertes Gebiet konnten wir bei keiner der 9 versuchten Narbenrevaskularisationen verifizieren.

Nach Anwendung der Methoden "einfache" Untergrundsubtraktion und "interpolierende" Untergrundsubtraktion zur besseren Beurteilung der Szintigramme bei den 12 Nachangiographierten ergab sich bei der segmentalen Analyse für die interpolierende Untergrundsubtraktion bei gering höherer Spezifität eine wenig niedrigere Sensitivität, weshalb wir nur in Sonderfällen zum Vergleich einen Vorteil in der zusätzlichen Anwendung der interpolierenden Untergrundsubtraktion sehen.

Insgesamt stellt die prä- und postoperative Tl-Szintigraphie nach unseren Ergebnissen eine nicht-invasive Methode dar, mit der die verbesserte Perfusion bei offenem Bypass

bewiesen werden wie auch bei ordentlicher Sensitivität eine Bypassdysfunktion wahrscheinlich gemacht werden kann; wobei allerdings die letztere auf eine peri- oder postoperative Infarzierung in der Bypassregion, eine Revaskularisation am falschen Ort oder auf eine Narbenrevaskularisation zurückgeführt werden kann.

7 LITERATURVERZEICHNIS

1)ABEGG, R. — Handbuch der Anorganischen Chemie, Leipzig: S. Hirzel 1908.

2)ATKINS, H.L., BUDINGER, T.F., LEBOWITZ, E., ANSARI, A.N., GREEN, M.W., FAIRCHILD, R.G., ELLIS, K.J. — Thallium-201 for Medical Use Part 3: Human Distribution and Physical Imaging Properties. J. Nucl. Med. 18, 133-140 (1977).

3)BAILEY, I.K., GRIFFITH, L.S,C., ROULEAU, J.R., STRAUSS, H.W., PITT, B. — Thallium-201 Myocardial Perfusion Imaging at Rest and during Exercise. Circulation 55, 79-87 (1977).

4)BARMEYER, J., REINDELL, H. — Koronare Herzerkrankung, Baden-Baden: Witzstrock 1977.

5)BARTEL, A.G., BEHAR, V.S., PETER, R.H., ORGAIN, E.S., KONG, Y. — Exercise Stress Testing in Evaluation of Aortocoronary Bypass Surgery. Circulation 48, 141-148 (1973).

6)BEHNKE, H.,(Hrsgb.) TIETZ, H. — Fischerlexikon Mathem. 2, Frankfurt: Fischerbücherei KG 1966.

7)BENCHIMOL, A., SANTOS, A., DESSER, K.B. — Relief of Angina Pectoris in Patients with Occluded Coronary Bypass Grafts. Am. J. Med. 60, 339-343 (1976).

8)BLOOD, D.K., McCARTHY, D.M., SCIACCA, R.R., CANNON, P.J.
Comparison of Single-Dose and Double-Dose Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigraphy for the Detection of Coronary Artery Disease and Prior Myocardial Infarction.
Circulation 58, 777-788 (1978).

9)BOTVINICK, E.H., TARADASH, M.R., SHAMES, D.M., PARMLEY, W.M.
Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigraphy for the Clinical Clarification of Normal, Abnormal and Equivocal Electrocardiographic Stress Tests.
Am. J. Cardiol. 41, 43-51(1978).

10)BOURASSA, M.G., GOULET, C., LESPERANCE, J.
Progression of Coronary Arterial Disease after Aortocoronary Bypass Grafts.
Circulation 47,48, Suppl.3, 127-131 (1973).

11)BRAUNWALD, E.
Evaluation of the Efficacy of Coronary Bypass Surgery-II.
Am. J. Cardiol. 42, 161-162 (1979).

12)BRADLEY-MOORE,P.R., LEBOWITZ, E., GREENE, M.W., ATKINS, H.L., ANSARI, A.N.
Thallium-201 for Medical Use. II: Biologic Behavior.
J. Nucl. Med. 16, 156-160 (1975).

13)BRITTEN, J.S., BLANK, M.
Thallium Activation of the Na^+-K^+)- activated AT Pase of Rabbit Kidney.
Biochim. Biophys. Acta 159, 160-166 (1968).

14)BÜLL, U., STRAUER, B.E., HAST, B.
Ergebnisse der ^{201}Thallium-Szintimetrie des Herzens bei der koronaren Herzkrankheit. Dtsch. Med. Wschr. 101, 1088-1092 (1976).

15)BÜLL, U., STRAUER, B.E., NIENDORF, H.P.
Correlation of Degree of LAD-Stenosis, Myocardial Motion and Myocardial Function with the Regional Thallium-201 Uptake Evaluated by a Scintimetric Method. Herz 2, 138-139 (1977).

16)CARILLO, A.P., MARKS, D.S., PICKARD, S.D., KHAJA, F., GOLDSTEIN, S.
Correlation of Exercise ^{201}Thallium Myocardial Scan with Coronary Arteriograms and the Maximal Exercise Test. Chest 73, 321-326 (1978).

17)COOK, D.J., BAILEY, I.K., STRAUSS, H.W., ROULEAU, J., WAGNER, H.N.Jr., PITT, B.
Thallium-201 for Myocardial Imaging: Appearance of the Normal Heart. J. Nucl. Med. 17, 583-589 (1976).

18)DICOLA, V.C., DOWNING, S.E., DONABEDIAN, R.K., ZARET, B.L.
Pathophysiological Correlates of Thallium-201 Myocardial Uptake in Experimental Infarction. Cardiovasc.Res.11, 141-146 (1977).

19)DIEBOLD, B., THEROUX, P., BOURASSA, M., PERONNEAU, P., GUERMONPREZ, J.
Noninvasive Assessment of Aortocoronary Bypass Graft Patency Using Pulsed Doppler Echocardiography. Am. J. Cardiol. 43, 10-16 (1979).

20)DILUZIO, V., ROY, P.R., SOWTON, E.
Angina in Patients with Occluded Aorto-Coronary Vein Grafts. Brit. Heart J. 36, 139-147 (1974).

21)EICHSTÄDT, H., SCHUMACHER, M., FEINE, U., KOCHSIEK, K.
Rechnerunterstützte ^{201}Tl-Myokard=szintigraphie in der Routinedia=gnostik der koronaren Herzer=krankung. Nucl. Med. 7, 233-237 (1978).

22)EICHSTÄDT, H., GAUSS, A.
Nichtinvasive Perfusionskontrolle nach aortokoronarer Bypassopera=tion durch Thallium-Myokardszin=tigraphie. Z. Kardiol. Suppl. 5, 154 (1978).

23)EICHSTÄDT, H., GAUSS, A., ANDRASCH, R., FEINE, U., KOCHSIEK, K.
Noninvasive Perfusion Control Following Aortocoronary Bypass-Grafting by 201-Thallium^{+} Myo=cardial Imaging. Cardiovasc. Radiol. 2, 79 (1979) (in press).

24)FAVALORO, R.G.
Direct Myocardial Revasculari=zation: A Ten Year Journey. Am. J. Cardiol. 43, 109-129 (1979).

25)FELIX, R., WAGNER, J., PENSKY, W., THURN, P., NEUMANN, G., HÜNERMANN, B., SCHAEDE, A., SIMON, H., WINKLER, C.
Die Myokard-Szintigraphie mit Thallium-201 als nicht-invasive Methode. Dtsch. Med. Wschr. 100, 2373-2377 (1975).

26)FELIX, R., PENSKY, W., WAGNER, J., THURN, P., NEUMANN, G., HEDDE, J.P., SIMON, H., WINKLER, C.
Zur Zuverlässigkeit der Myokardszintigraphie mit Thallium-201 - Vergleich mit der Lävokardiographie und der Perfusionsszintigraphie.
Fortschr. Röntgenstr. 124, 210-214 (1976).

27)FELLER, P.A., SODD, V.J.
Dosimetry of Four Heart-Imaging Radionuclides: ^{43}K, ^{81}Rb, ^{129}Cs and ^{201}Tl.
J. Nucl. Med. 16, 1070-1075 (1975).

28)FORTH, W., HENSCHLER, D., RUMMEL, W.
Pharmakologie und Toxikologie.
Mannheim: B.I. Wissenschaftsverlag 1975.

29)GEHRING, P.J., HAMMOND, P.B.
The Uptake of Thallium by Rabbit Erythrozytes.
J. Pharmacol. Exp. Ther. 145, 215-221 (1964).

30)GEHRING, P.J., HAMMOND, P.B.
The Interrelationship between Thallium and Potassium in Animals.
J. Pharmacol. Exp. Ther. 155, 187-201 (1967).

31)GEWIRTZ, H. O'KEEFE, D.D., POHOST, G.M., STRAUSS, H.W. McILDUFF, J.B., DAGGETT, W.M.
The Effect of Ischemia on Thallium-201 Clearance from the Myocardium.
Circulation 58, 215-219 (1978).

32)GORIS, M.L., DASPIT, S.G., McLAUGHLIN, P., KRISS, J.P. Interpolative Background Substraction. J. Nucl. Med. 17, 744-747 (1976).

33)GOULD, K.L. Noninvasive Assessment of Coronary Stenoses by Myocardial Perfusion Imaging during Pharmacologic Coronary Vasodilatation. Am. J. Cardiol. 41, 267-278 (1978).

34)GOULD, K.L., LIPSCOMB, K., HAMILTON, G.W. A Physiologic Basis for Assessing Critical Coronary Stenosis. Am. J. Cardiol. 33, 87-94 (1974).

35)GOULD, K.L., MOZERSKY, D.J., HOKANSON, D.E., BAKER, D.W., KENNEDY, J.W., SUMNER, D.S., STRANDNESS, D.E.Jr. A Noninvasive Technic for Determining Patency of Saphenous Vein Coronary Bypass Grafts. Circulation 46, 595-600 (1972).

36)GREENBERG, B.H., HART, K., BOTVINICK, E.H., WERNER, J.A., BRUNDAGE, B.H., SHAMES, D.M., CHATTERJEE, K., PARMLEY, W.W. Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigraphy to Evaluate Patients after Coronary Bypass Surgery. Am. J. Cardiol. 42, 167-176 (1978).

37) HAMILTON, G.W., TROBAUGH, G.B., RITCHIE, J.L., WILLIAMS, D.L., WEAVER, W.D., GOULD, K.L. Myocardial Imaging with Intravenously Injekted Thallium-201 in Patients with Suspected Coronary Artery Disease. Am. J. Cardiol. 39, 347-354 (1977).

38) HAMILTON, G.W., NARAHARA, K.A., YEE, H., RITCHIE, J.L., WILLIAMS, D.L., GOULD, K.L. Myocardial Imaging with Thallium-201: Effect of Cardiac Drugs on Myocardial Images and Absolute Tissue Distribution. J. Nucl. Med. 19, 10-16 (1978).

39) HULTGREN, H.N., TAKARO, T., DETRE, K.M., MURPHY, M.L. Evaluation of the Efficacy of Coronary Bypass Surgery-I. Am. J. Cardiol. 42, 157-160 (1978).

40) HEINECKER, R. EKG in Praxis und Klinik, 10. Aufl. Stuttgart: Thieme 1975

41) KINSEY, V.E., McLEAN, I.W., PARKER, J. Studies on the Cristalline Lens 18. Kinetics of Thallium (Tl^+) Transport in Relation to that of the Alkali Metal Cations. Invest. Ophtalmol. 10, 932-942 (1971).

42) LEBOWITZ, E., GREENE, M.W., FAIRCHILD, R., BRADLEY-MOORE, P.R., ATKINS, H.L., ANSARI, A.N., RICHARDS, P., BELGRAVE, E. Thallium-201 for Medical Use. I. J. Nucl. Med. 16, 151-155 (1975).

43)LENAERS, A.,
BLOCK, P.,
THIEL, E. van,
LEBEDELLE, M.,
BECQUEVORT, P.,
ERBSMANN, F.,
ERMANS, A.M.

Segmental Analysis of Tl-201 Stress Myocardial Scintigraphy. J. Nucl. Med. 18, 509-516 (1977).

44)LICHTE, H.,
KRIEGEL, H.,
SEBENING, H.,
HÖR, G.,
PABST, H.W.,
DRESSLER, J.
SAUER, E.

Klinische und experimentelle Untersuchungen mit ^{201}Tl zur nichtinvasiven Myocardszintigraphie. Fortschr. Röntgenstr. 124, 206-210 (1976).

45)LOOP, F.D.,
PROUDFIT, W.L.,
SHELDON, W.C.

Coronary Bypass Surgery Weighed in the Balance. Am. J. Cardiol. 42, 154-156 (1978).

46)LÜTOLF, U.M.
SCHNEIDER, E.,
GLANZMANN, Ch.,
NÜESCH, K.,
PFEIFFER, F.,
KRAYENBÜHL, H.P.,
HORST, W.

Zur Methodik der Myokardszintigraphie mit Thallium 201: Grenzen zum Pathologischen. Schweiz. Med. Wschr. 107, 1574-1577 (1977).

47)LURIE, A.,
SALEL, A.F.,
BERMAN, D.S.,
DENARDO, G.,
MASON, D.T.

Determination of Improved Myocardial Perfusion after Aortocoronary Bypass Surgery by Exercise Rubidium-81 Scintigraphy. Circulation 52, Suppl. 2, 141 (1975).

48) LUTHER, M., LANGER, F., SCHNEIDER, A., HEUSELMANN, L., KIEFHABER, F.
Die Szintigraphie des Myokards. Vergleichende Studie zwischen Thallium- und Perfusionsszintigramm. Münch. Med. Wschr. 119, 15-22 (1977).

49) MASERI, A., PARODI, O., SEVERI, S., PESOLA, A.
Transient Transmural Reduction of Myocardial Blood Flow, Demonstrated by Thallium-201 Scintigraphy, as a Cause of Variant Angina. Circulation 54, 280-288 (1976).

50) MATHEY, D., MONTZ, R., HANRATH, P., KUPPER, W., BLEESE, N., STRITZKE, P., KRÖGER, E., KNOP, J., BLEIFELD, W.
Reversible Myokardischämie oder irreversible Myokardfibrose? Dtsch. Med. Wschr. 44, 1736-1739 (1978).

51) MATLOF, H.J., ALDERMAN, E.L., WEXLER, L., SHUMWAY, N.E., HARRISON, D.C.
What is the Relationship between the Response of Angina to Coronary Surgery and Anatomical Success? Circulation 47,48, Suppl. 3 168-172 (1973).

52) McCONAHAY, D.R., VALDES, M., McCALLISTER, B.D., CROCKETT, J.E., CONN, R.D., REED, W.A., KILLEN, D.A.
Accuracy of Treadmill Testing in Assessment of Direct Myocardial Revascularization. Circulation 56, 548-552 (1977).

53)McINTOSH, H.D., GARCIA, J.A. The First Decade of Aortocoronary Bypass Grafting 1967-1977. Circulation 57, 405-431 (1978).

54)McLAUGHLIN, P.R., MARTIN, R.P., DOHERTY P., DASPIT, S., GORIS, M., HASKELL, W., LEWIS, S., KRISS, J.P., HARRISON, D.C. Reproducibility of Thallium-201 Myocardial Imaging. Circulation 55, 497-503 (1977).

55)MERRILL, A.J.Jr., THOMAS, C., SCHECHTER, E., CLINE, R., ARMSTRONG, R., STANFORD, W. Coronary Bypass Surgery. Value of Maximal Exercise Testing in Assessment of Results. Circulation 51,52, Suppl. 1 173-177 (1975).

56)MUELLER, T.M., MARCUS, M.L., EHRHARDT, J.C., CHAUDHURI, T., ABBOUD, F.M. Limitations of Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigrams. Circulation 54, 640-646 (1976).

57)MULLINS, L.J., MOORE, R.D. The Movement of Thallium Ions in Muscle. J. Gen. Physiol. 43, 759-773 (1960).

58)NARAHARA, K.A., HAMILTON, G.W., WILLIAMS, D.L., GOULD, K.L. Myocardial Imaging with Thallium-201: An Experimental Model for Analysis of the True Myocardial and Background Image Components. J.Nucl. Med. 18, 781-786 (1977).

59)NISHIYAMA, H., SODD, V.J., ADOLPH, R.J., SAENGER, E.L., LEWIS, J.T., GABEL, R.
Intercomparison of Myocardial Imaging Agents: ^{201}Tl, ^{129}Cs, ^{43}K and ^{81}Rb.
J. Nucl. Med. 17, 880-889 (1976).

60)ORTEND, J., PLATT, L., MILLS, L., SHAPIRO, W., PUGH, B., BLOMQVIST, C.G., PARKEY, R.W., WILLERSON, J.T.
Thallium-201 Scintigraphy and Exercise Testing in Evaluating Patients Prior to and after Coronary Bypass Surgery.
Circulation 55,56, Suppl. 3 131 (1977).

61)POHOST, G.M., ZIR, L.M., MOORE, R.H., McKUSICK, K.A., GUINEY, T. E., BELLER, G.A.
Differentiation of Transiently Ischemic from Infarcted Myocardium by Serial Imaging after a Single Dose of Thallium-201.
Circulation 55, 294-302 (1977).

62)REMY, H.
Lehrbuch der Anorg. Chemie, 13. Aufl. Leipzig: Akad. Verlagsges. Geest und Portig 1970.

63)RENTROPP, P.
Coronarangiographie.
In: Herzkrankheiten (H. Reindell, H. Roskamm, Hrsgb.)
Berlin: Springer-Verlag 1977.

64)RITCHIE, J.L., HAMILTON, G.W., WACKERS, F.J.Th.
Thallium-201 Myocardial Imaging, New-York: Raven Press 1978.

65)RITCHIE, J.L., NARAHARA, K.A., TROBAUGH, G.B., WILLIAMS, D.L., HAMILTON, G.W.
Thallium-201 Myocardial Imaging before and after Coronary Revascularization. Circulation 56, 830-836 (1977).

66)ROSKAMM, H.
Funktionsprüfung von Herz und Kreislauf. In: Herzkrankheiten (H. Reindell, H. Roskamm, Hrsgb.) Berlin: Springer-Verlag 1977.

67)SBARBARO, J.A., KARUNARATNE, H., CANTEZ, S., HARPER, P., RESNEKOV, L.
Tl 201 Imaging in the Assessment of Coronary Artery Bypass Graft (CABG) Patency. Circulation 55,56, Suppl. 3 231 (1977).

68)SCHWARTZ, J.S., PONTO, R., CARLYLE, P., FORSTROM, L., COHN, J.N.
Early Redistribution of Thallium-201 after Temporary Ischemia. Circulation 57, 332-335 (1978).

69)SMITHERMAN, T.C., OSBORN, R.C., NARAHARA, K.A.
Serial Myocardial Scintigraphy after a Single Dose of Thallium-201 in Men after Acute Myocardial Infarction. Am. J. Cardiol. 42, 177-182 (1978).

70)STERNBERG, L., WALD, R.W., FEIGLIN, D.H., MORCH, J.E.
Myocardial Perfusion Imaging with Thallium-201: Correlation with Coronary Arteriography and Electrocardiography. Can. Med. Assoc. J. 118, 283-287 (1978).

71)STRAUER, B.E., BÜLL, U., BÜRGER, S.
Clinical and Experimental Analysis of ^{201}Thallium Uptake of the Heart.
J. Nucl. Med. 17, 142-148 (1978).

72)STRAUSS, H.W., PITT, B.
Noninvasive Detection of Subcritical Coronary Arterial Narrowings with a Coronary Vasodilator and Myocardial Perfusion Imaging.
Am. J. Cardiol. 39, 403-406 (1977).

73)STRAUSS, H.W., HARRISON, K., LANGAN, J.K., LEBOWITZ, E., PITT, B.
Thallium-201 for Myocardial Imaging: Relation of Thallium-201 to Regional Myocardial Perfusion.
J. Nucl. Med. 16, 851 (1975).

74)THURN, P., BÜCHELER, E.
Einführung in die Röntgendiagnostik,
5. Aufl. Stuttgart: Thieme 1977.

75)TURNER, D.A., BATTLE, W.E., DESHMUKH, H., COLANDREA, M.A., SNYDER, G. J., FORDHAM, E.W., MESSER, J.V.
The Predictive Value of Myocardial Perfusion Scintigraphy after Stress in Patients without Previous Myocardial Infarction.
J. Nucl. Med. 19, 249-255 (1978).

76)VERANI, M.S., MARCUS, M.L., RAZZAK, M.A., EHRHARDT, J.C.
Sensitivity and Specificity of Thallium-201 Perfusion Scintigrams under Exercise in the Diagnosis of Coronary Artery Disease.
J. Nucl. Med. 19, 773-782 (1978).

77) VERANI, M.S., MARCUS, M.L., SPOTO, G., ROSSI, N.P., EHRHARDT, J.C., RAZZAK, M.A.
Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigrams in the Evaluation of Aortocoronary Saphenous Bypass Surgery. J. Nucl. Med. 19, 765-772 (1978).

78) VLODAVER, D.P., AMPLATZ, M.H., BURCHELL, M.H., EDWARDS, M.B.
Coronary Heart Disease, Berlin: Springer-Verlag 1976.

79) WEICH, H.F., STRAUSS, H.W., PITT, B.
The Extraction of Thallium-201 by the Myocardium. Circulation 56, 188-191 (1977).

80) WOLF, R., PRETSCHNER, D., DOPSLAFF, H., ENGEL, H.-J., HUNDESHAGEN, H., LICHTLEN, P.
Wirkung von Isosorbidnitrat auf das 201-Thallium-Perfusionsszintigramm bei koronarer Herzkrankheit. Z. Kardiol. Suppl. 5, 145 (1978).

81) ZARET, B.L., MARTIN, N.D., McGOWAN, R.L., STRAUSS, H.W., WELLS, H.P.Jr., FLAMM, M.D.Jr.
Rest and Exercise Potassium-43 Myocardial Perfusion Imaging for the Noninvasive Evaluation of Aortocoronary Bypass Surgery. Circulation 49, 688-695 (1974).

DANKSAGUNG

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. K. KOCHSIEK
für die Anregung zu dieser Arbeit und die Überlassung
des Themas.

Ganz besonders danke ich Herrn Dr. H. EICHSTÄDT
für die Anleitung bei der Einarbeitung in das Thema
mit Beratung bei allen theoretischen und praktischen
Problemen der koronaren Herzerkrankung und der Bypass-=
Chirurgie, insbesondere beim diesbezüglichen Stellenwert
der Myokardszintigraphie.
Wesentlicher Dank gilt ihm auch für die kardiologische
Betreuung der Patienten mit der Durchführung der Be=
lastungsuntersuchungen und der Zusammenstellung der
Angiogramme.
Auch für die mehrfache gewissenhafte Korrektur der
Arbeitsentwürfe mit weiteren Anregungen sei gedankt.

Weiterhin möchte ich Herrn Professor Dr. U. FEINE und
Herrn Dr.Dr. W. MÜLLER-SCHAUENBURG vom Nuklearmedizini=
schen Institut für die Einführung in die nuklearmedizi=
nischen Probleme der Arbeit und für die Bereitstellung
der Computerprogramme zur Auswertung der Untersuchungen
danken.

LEBENSLAUF

Am 8. September 1955 wurde ich, Albrecht Gauß, als Sohn des Christian Gauß und der Margarete Gauß, geb. Mayer, in Upfingen, Kreis Reutlingen, geboren.

Nach meiner Grundschulzeit von 1962 bis 1966 besuchte ich das humanistische Uhland-Gymnasium in Tübingen, wo ich 1974 die Reifeprüfung ablegte.

Bis zur Aufnahme des Medizinstudiums im Sommer= semester 1975 an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen leistete ich zehn Monate der Militär= dienstzeit in Mittenwald (Bayern) ab.

Im März 1977 bestand ich in Tübingen die Ärztliche Vorprüfung, im März 1978 den ersten und im März 1980 den zweiten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung. Anschließend absolvierte ich mein Praktisches Jahr in Friedrichshafen (Bodensee), das ich am 7. April 1981 mit dem schriftlichen Teil und am 10. April 1981 mit dem mündlichen Teil des dritten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung erfolgreich abschloß.

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (07472) 22145